

Niubis Luperón Mustelier

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS E ARGAMASSAS
COM CINZAS DE CARVÃO MINERAL INCORPORADA PARA
APROVEITAMENTO EM CONJUNTOS HABITACIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

**Florianópolis – Brasil
2002**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS E
ARGAMASSAS COM CINZAS DE CARVÃO MINERAL
INCORPORADA PARA APROVEITAMENTO EM
CONJUNTOS HABITACIONAIS**

Niubis Luperón Mustelier

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^a Dr^a Janaíde Cavalcante Rocha

**Florianópolis – Brasil
2002**

MUSTELIER, Niubis Luperón. **Avaliação do desempenho de blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral incorporada para aproveitamento em conjuntos habitacionais.** Florianópolis, 2002. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Prof^a Dr^a Janaíde Cavalcante Rocha

Defesa: Abril/2002

Resumo: O presente trabalho propõe-se a avaliar o desempenho de blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral obtidas dos processos termelétricos incorporada na sua composição. Estes materiais, como novos materiais que se pretende empregar na Construção, não podem ser eximidos de serem submetidos à investigação, pois estes ao surgirem como resposta local e alternativa, devem contar com uma informação técnica que permita aos diferentes especialistas decidir pela sua utilização ou não no cumprimento de diversas funções dentro da edificação. Como resultado se obtém a caracterização de uma série de parâmetros físicos e técnicos dos materiais com resíduos incorporados, os quais seria possível obter através de medições de laboratórios, que foram descritas durante o desenvolvimento do trabalho. Tais parâmetros constituem o ponto de partida para o conhecimento das propriedades e capacidades operacionais dos blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral em condições de uso nas edificações.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em **22/04/2002**, pela comissão examinadora:

Prof^ª Dr^a Janaíde Cavalcante Rocha (UFSC) - Orientadora – Moderadora

Prof. Dr. Celso Peres Fernandes – (LMPT/ UFSC)

Prof. Dr. Fernando Barth – (ARQ/UFSC)

Prof. Dr. Malik Cheriaf – (ECV/UFSC)

Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do PPGEC

*“ Sobre as colunas,
que são poucas se erguem os templos ”
Jose Marti, Cuba.*

*Ao meu esposo
Frank,
a minha mãe, meu pai , minha irmã e
todos os que ajudaram para que estivesse aqui.*

AGRADECIMENTOS

À Prof^a Janaíde Cavalcante Rocha, pelo apoio e orientação do trabalho em todos os momentos, até sua conclusão.

Ao Prof. Malik Cheriaf, pela contribuição para a elaboração da parte experimental.

Ao Departamento de Engenharia Civil da UFSC, por haver proporcionado as condições necessárias para o desenvolvimento dos trabalhos experimentais.

A Zaira Ribeiro, pela eterna amizade.

A Fernando Avancini Tristão, Luciana Maltez Lenglee Calçada pela presteza e atenção em momentos de dúvidas.

Aos colegas Karina Pérez, João Paulo Silveira, Anderson Kreuz, Patrícia Margon, Leonardo, Vaneide, pela fundamental ajuda na realização da etapa experimental da pesquisa.

Ao Roque Medeiros Lima pela ajuda e presença incondicional em todos os momentos.

A Grupo de Valorização de Resíduos pela compreensão e paciência.

A Jenner Carvalho pela tranquilidade e amizade surgida ao longo do caminho.

A todos os estagiários do laboratório de materiais em especial, Fernando Martins que a qualquer chamado esteve presente gentilmente.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à FEESC pelo seu programa de financiamento, possibilita a realização de pesquisas universitárias.

Ao meu esposo Francisco Font Bell, pela convivência nos momentos difíceis, pela força e ajuda durante o tempo de desenvolvimento do trabalho experimental. *Muchas gracias mi amado albañil.*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	VI
SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE FOTOS.....	XV
LISTA DE TABELAS.....	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIX
RESUMO.....	XXI
<i>ABSTRACT</i>.....	XXII
1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 APRESENTAÇÃO.....	01
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	04
1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	10
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	11
1.4.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.5 HIPÓTESES DA PESQUISA.....	12
1.5.1 HIPÓTESE GERAL.....	12

1.5.2	HIPÓTESE DE TRABALHO.....	12
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	RESGATE HISTÓRICO DA LINHA DE PESQUISA.....	14
2.2	METODOLOGIA BÁSICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE HABITAÇÕES.....	20
2.2.1	REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO.....	22
2.2.1.1	<i>REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO EM PAREDES EXTERNAS.....</i>	24
2.3	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO.....	28
2.3.1	REQUISITOS E CRITÉRIOS DA ESTANQUEIDADE.....	32
2.3.1.1	<i>MÉTODOS DE ENSAIOS MAIS DIFUNDIDOS E PRECONIZADOS POR CENTROS DE PESQUISAS.....</i>	38
2.3.1.1.1	<i>Método de ensaio preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.....</i>	38
2.3.1.1.2	<i>Método de ensaio de estanqueidade à água preconizado pelo Departamento de Engenharia Estrutural da Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, localizada na cidade de Porto Alegre.</i>	40
2.3.1.1.3	<i>Método de ensaio preconizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment–CSTB.</i>	41
2.3.1.1.4	<i>Método de ensaio preconizado pela American Society for Testing and Materials – ASTM.....</i>	43
...		
2.3.1.1.5	<i>Método de ensaio preconizado pela British Standard Institution – BSI.....</i>	44

2.3.1.1.6	<i>Método de ensaio preconizado pelo Building Research Institute – BRI</i>	45
2.3.2	REQUISITOS E CRITÉRIOS DA DURABILIDADE.....	46
3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E METODOLOGIA..	50
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	51
3.1.1	CIMENTO.....	51
3.1.2	CAL.....	52
3.1.3	AREIA.....	53
3.1.4	CINZA LEVE.....	54
3.1.5	CINZA PESADA.....	55
3.1.6	ÁGUA.....	57
3.2	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS E CARACTERIZAÇÃO.....	57
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS.....	62
3.3.1	ESTUDO DAS CINZAS NA COMPOSIÇÃO IDEAL PARA UTILIZAÇÃO NOS BLOCOS.....	62
3.4	CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	67
3.4.1	ENSAIO DA ESTANQUEIDADE.....	67
3.4.1.1	UMIDADE DO MATERIAL.....	77
3.4.1.2	ENSAIO DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO.....	78
3.4.1.3	ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.....	79
3.4.2	ENSAIO DA DURABILIDADE.....	80
3.4.2.1	ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	83
3.4.2.2	ANALISE TÉRMICA DIFERENCIA.....	86

4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	87
4.1	ENSAIOS DE ESTANQUEIDADE.....	87
4.1.1	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	87
4.1.1.1	TEOR DE UMIDADE.....	93
4.1.1.2	ENSAIO DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO.....	94
4.1.1.3	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	95
4.2	ENSAIO DA DURABILIDADE.....	99
4.2.1	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	99
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
5.1	CONCLUSÕES RELATIVA À ESTANQUEIDADE.....	109
5.2	CONCLUSÕES RELATIVAS À DURABILIDADE	110
5.3	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	112
5.3.1	RECOMENDAÇÕES PARA ENSAIO ESTANQUEIDADE.....	112
5.3.2	RECOMENDAÇÕES PARA ENSAIO DE DURABILIDADE.....	113
5.3.3	OUTRAS RECOMENDAÇÕES.....	113
	ANEXOS.....	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Processo de caracterização do uso de materiais, elementos e sistemas construtivos	2
Figura 2.1 – Processo de avaliação de desempenho – extraída de Souza(1983).....	15
Figura 2.2 - Metodologia básica para o desenvolvimento de um sistema construtivo (Fonte: Thomaz,1988).....	23
Figura 2.3 - Solicitações impostas às superfícies externas da edificação (Fonte Boletim 68,IPT).....	24
Figura 2.4 - Forças que empurram a água pelas aberturas de uma parede.(Fonte: POLISSENI,1986).....	36
Figura 2.5 - Câmara de estanqueidade à água usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.....	39
Figura 2.6 - Câmara de ensaio de estanqueidade à água utilizada pelo Centre Scientifique et Technique du Batiment – CSTB.....	42
Figura 2.7 - Esquema de funcionamento da câmara de ensaio de estanqueidade á água preconizada em 1974 pela American Society for Testing and Materials – ASTM.....	43
Figura 2.8 – Câmara de ensaio de estanqueidade á água preconizada pela British Standard Institution – BSI.....	44
Figura 3.1 - Curva granulométrica da areia Rio Tijucas, Município Tijucas, Santa Catarina, em comparação com os limites da areia média, zona 3 da NBR 7211, 1983	54
Figura 3.2 - Curva granulométrica da cinza pesada sem torrões, em comparação com os limites da areia média , zona 3, da NBR 7211, 1983.....	56
Figura 3.3 - Índice de consistência das argamassas.....	59

Figura 3.4 - Resistência à compressão das argamassas, nas idades investigadas.....	61
Figura 3.5 - Resistência à compressão dos blocos de vedação.....	63
Figura 3.6 - Absorção dos blocos de vedação.....	65
Figura 3.7 - Regimes do Brasil para fins de verificação da estanqueidade à água de chuva – Isopletas da velocidade basca de vento da NB 599 (1987)	69
Figura 3.8 - Esquema de funcionamento da câmara de estanqueidade.....	71
Figura 3.9 - Seqüência de preparo para realização do ensaio de resistência de aderência à tração	84
Figura 3.10 - Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento	85
Figura 4.1 - Tempo de aparição da umidade nos painéis avaliados.....	89
Figura 4.2 - Tempo de aparição da primeira mancha nos painéis avaliados.....	89
Figura 4.3 - Área de umidade de cada argamassa ao final do ensaio.....	91
Figura 4.4 - Percentagem da área de umidade.....	91
Figura 4.5 - Absorção dos painéis ao final do período de exposição.....	92
Figura 4.6 - Teor de umidade das argamassas ao final do ensaio de estanqueidade.....	93
Figura 4.7- Absorção por baixa pressão das argamassas (Método do Cachimbo).....	94
Figura 4.8 - Absorção acumulada por baixa pressão das argamassas (Método do cachimbo).....	94
Figura 4.9 - Absorção de água por capilaridade nas argamassas.....	95
Figura 4.10 - Altura capilar média das argamassas.....	95
Figura 4.11 - Absorção de água acumulada por capilaridade nas argamassas.....	97
Figura 4.12 - Resistência de aderência à tração nos corpos-de-prova avaliados...	104
Figura 4.13 - Análise Térmica Diferencial (ATD) da argamassa M1a nas idades de três, sete e cem dias.....	106

Figura 4.14 - Análise Térmica Diferencial (ATD) da argamassa M8a nas idades de três, sete e cem.....	107
Figura A-1 - Água coletada acumulada na saída.....	117
Figura A-2- Absorção de água acumulada durante o ensaio de estanqueidade.....	117

LISTA DE FOTOS

Foto 3.1 - Argamassas de assentamento e de revestimento para pesquisa.....	58
Foto 3.2 - Estoque de blocos com cinzas incorporadas.....	66
Foto 3.3 - Seqüência de fabricação da câmara de estanqueidade.....	74
Foto 3.4 - Seqüência de fabricação dos protótipos de paredes.....	75
Foto 3.5 - Protótipos de paredes submetidos a ensaio de estanqueidade.....	76
Foto 3.6 - Amostras de argamassas para determinar teor de umidade.....	77
Foto 3.7 - Aparato para medir a absorção de água montado na parede em estudo (Método do Cachimbo).....	78
Foto 3.8 - Corpos-de-prova de paredes para ensaio de durabilidade.....	82
Foto 3.9 - Execução do ensaio de envelhecimento acelerado.....	82
Foto 3.10 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento.....	85
Foto 4.1 - Área de umidade na face oposta dos painéis convencionais ao final do período de ensaio.....	90
Foto 4.2 - Área de umidade na face oposta dos painéis com cinzas incorporadas no final do período de ensaio.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Organizações de Aprovações Técnicas (MITIDIERI FILHO,1998).....	19
Tabela 2.2 - Exigências do usuário segundo norma ISO 6241.....	20
Tabela 2.3 - Exigência e prioridade (Fonte Sousa,1988).....	33
Tabela 3.1 - Laudo Técnico—Cimento Portland CP II F – 32 (Cimento Itambé, julho/2001).....	51
Tabela 3. 2 - Massa unitária do cimento.....	52
Tabela 3.3 - Laudo de análise – Cal Hidratada CH –III.....	52
Tabela 3.4 - Massa unitária da cal.....	53
Tabela 3.5 - Análise granulométrica da areia.....	53
Tabela 3.6 - Análise química da cinza leve.....	55
Tabela 3.7 - Massa unitária da cinza leve.....	55
Tabela 3.8 - Massa específica aparente da cinza leve utilizada na argamassa.....	55
Tabela 3.9 - Análise granulométrica da cinza pesada sem torrões.....	56
Tabela 3.10 - Massa unitária do cinza pesada.....	57
Tabela 3.11 - Massa específica aparente da cinza pesada utilizada na argamassa	57
Tabela 3.12 - Características físicas dos materiais componentes das argamassas..	58
Tabela 3.13 - Argamassa -Traços em massa e em volume.....	58
Tabela 3.14 -Teor de água e consistência das argamassas analisadas.....	59
Tabela 3.15 - Resistência à compressão dos blocos de vedação.....	63

Tabela 3.16 - Absorção dos blocos de vedação.....	64
Tabela 3.17 - Condições de ensaio de estanqueidade de paredes.....	68
Tabela 4.1 - Parâmetros obtidos para os painéis convencionais.....	88
Tabela 4.2 - Parâmetros obtidos para os painéis CZL-CZP.....	88
Tabela 4.3 - Níveis de desempenho para ensaio de estanqueidade.....	92
Tabela 4.4 - Coeficiente de capilaridade das argamassas.....	96
Tabela 4.5 - Infiltração das argamassas.....	97
Tabela 4. 6 - Série de ensaios: Painei 1.....	100
Tabela 4. 7 - Série de ensaios: Painei 2.....	101
Tabela 4. 8 - Série de ensaios: Painei 3.....	102
Tabela 4. 9 - Série de ensaios: Painei 4.....	103
Tabela 4.10 - Resumo Ensaio de Aderência à Tração (Coletados).....	104
Tabela 4.11 - Resumo Ensaio de Aderência à Tração (Tratados estatística).....	104
Tabela A-1 - Resistência à compressão-Tratamento estatístico dos resultados.....	114
Tabela A-2 - Água coletada acumulada - volume de água na saída).....	115
Tabela A-2 - Água coletada acumulada - volume de água na saída(Cont.).....	116
Tabela A-3 - Volume de água acumulado durante o ensaio de estanqueidade.....	117
Tabela A.4 - Teor de umidade das argamassas ao final do ensaio de estanqueidade.....	118
Tabela A-5 - Resultados ensaio de Absorção por baixa pressão (Método do cachimbo).....	118

LISTA DE ABREVIATURAS

a/agl.	Relação água/aglomerantes em massa
a/c	Relação água/cimento em massa
a/mat. secos	Relação água/materiais secos em massa
ABTN	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARQUITROP	Software nacional baseada no procedimento da admitância para resposta térmica
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BBA	<i>British Board of Agrément</i>
BCJ	<i>Building Center Of Japan</i>
CASAN(SC)	Companhia de Saneamento do Estado de Santa Catarina
CBL	<i>Center For Better Living</i>
CH-III	Cal Hidratada, classe III pela NBR 7175, 1992
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i>
COHAB-RP	Companhia de Habitação Regional de Ribeirão Preto
CSTB	<i>Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>
CSTC	<i>Centre Scientifique et Technique de la Construction</i>
CZL	Cinza leve
CZP	Cinza Pesada
ENBRI	<i>European Network of Building Research Institutes</i>
INSA	<i>Institut National des Sciences Appliquées</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnologia do Estado de São Paulo
ISO/DP	<i>International Organization for Standardization/Draft Proposal</i>
LMC	Concreto látex modificado
ME	Massa específica aparente

MF	Módulo de Finura
MIX	Identificação genérica do traço da argamassa
MPa	Mega Pascal
MU	Massa unitária
MT	Mato Grosso
NBR	Norma Brasileira
NPC	Núcleo de Pesquisa da Construção Civil
PROTECH	Programa instituído pela Secretaria Geral da República
RILEM	<i>Réunion International des Laboratoires D'Essais et Matériaux</i>
RN	Rio Grande do Norte
SC	Santa Catarina
SP	São Paulo
UEA	<i>European Union of Agrément</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
URGC	<i>Groupement de Recherche d'Urbanism et Génie Civil</i>
WFTAO	<i>World Federation of Technical Assessment Organizations</i>

RESUMO

Nos últimos tempos tem adquirido uma grande importância o aproveitamento de resíduos na Indústria da Construção Civil. Estão sendo desenvolvidas pesquisas, na procura de novos materiais construtivos com resíduos incorporados como alternativa para a redução do volume de extração de matérias primas, conservação de matérias primas não renováveis, redução de consumo de energia, menores emissões de poluentes como CO₂, melhoria da saúde e segurança da população (ENBRI, 1994).

Estes novos materiais apresentam uma dificuldade básica: poucas vezes é avaliado seu desempenho frente às condições a que são submetidos. As edificações estão submetidas à ação de cargas, que provocam tensões internas. Por isso ao projetar edifícios, é fundamental o conhecimento das propriedades de resistência e a deformação dos materiais e elementos, ou seja, as chamadas propriedades mecânicas. Além da resistência estrutural, os elementos da construção devem possuir a capacidade de opor-se às influências físicas e químicas do meio ambiente. O conhecimento destas capacidades é necessário para proteger as estruturas contra tais ataques, bem como para elevar as propriedades operacionais dos edifícios.

O presente trabalho propôs-se desenvolver a avaliação do desempenho de blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral obtidas dos processos termelétricos incorporadas na sua composição em quanto à estanqueidade e durabilidade. Estes materiais, como novos materiais que se pretende empregar na Construção, não podem ser eximidos de serem submetidos à investigação, pois estes, ao surgir como resposta local e alternativa, devem contar com uma informação técnica que permita aos diferentes especialistas decidir pela sua utilização ou não no cumprimento de diversas funções dentro da edificação.

Como resultado foi obtida a caracterização de uma série de parâmetros físicos - técnicos dos materiais com resíduos incorporados. Estes foram verificados através de medições de laboratórios, que são descritos durante o desenvolvimento do trabalho. Tais parâmetros constituíram o ponto de partida para o conhecimento das propriedades e capacidades operacionais dos blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral em condições de uso nas edificações.

Palavras-chave: resíduos, avaliação de desempenho, durabilidade, estanqueidade

ABSTRACT

In the last few years, the use of residues in the Civil Construction Industry has gained great importance. The research being carried out aims to find new constructive materials with incorporated residues hoping to obtain the following goals: to reduce the extraction of raw materials; to promote the preservation of nonrenewable raw materials; to reduce energy-consumption; to reduce to emission of pollutants such as CO₂; lastly, to improve the health and safety of the population (ENBRI, 1994).

These new materials present a basic difficulty: the performance under the conditions in which they are submitted is rarely evaluated. Internal tensions are caused because the constructions are submitted to action loads. With this difficulty in mind, designing buildings requires knowledge of the properties of resistance and deformations of materials and elements. In other words, knowledge of the properties of mechanics is fundamental. Besides the structural resistance, the elements of the construction should possess the capacity to resist the physical and chemical influences of the environment. It is essential to have knowledge of these capacities in order to protect the structures against such influences as well as to elevate the operational properties of the buildings.

The present work aims to develop a performance evaluation of the blocks and mortars with ashes of mineral coal obtained from the thermoelectric processes incorporated in its composition as regards water penetration and durability. These and other new materials that are intended to be used in construction cannot be exempt from a thorough investigation. That is, when these materials emerge as alternatives, they should come with technical information that will allow specialists to decide whether or not they can be utilized in the different areas of construction.

As a result of this study, a characterization of a series of physical parameters – technicians of the materials with incorporated residues – was obtained. The parameters were verified through laboratory measurements and are described in the development of the work. Such parameters served as the starting point for the knowledge of the properties and operational capacities of the blocks and mortars with ashes of mineral coal appropriate to use in the constructions.

Key words: residues, performance evaluation, durability, water penetration, and leakage

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Nos últimos tempos, o aproveitamento de resíduos na Indústria da Construção Civil tem adquirido uma grande importância. Estão sendo desenvolvidas pesquisas, na busca por novos materiais construtivos com resíduos incorporados como alternativa para a redução do volume de extração de matérias-primas, conservação de matérias-primas não renováveis, redução de consumo de energia, redução das emissões de poluentes como CO₂, melhoria da saúde e segurança da população (ENBRI, 1994). Um dos problemas relacionados ao crescimento tecnológico e ao aumento de aglomerados urbanos é a considerável quantidade de resíduos sólidos armazenados pelo homem, que causam, conseqüentemente, uma diminuição de espaço físico nos locais de destinação destes resíduos.

Segundo CAVALCANTE et al. (1999) estes resíduos, para serem utilizados na construção civil passam por uma série de etapas (Figura 1.1). Partindo de um levantamento de dados junto aos produtores de resíduos e de uma pesquisa de campo. Esta etapa permite a localização das principais fontes geradoras dos resíduos. Visando o emprego dos resíduos como matéria-prima na confecção de novos produtos, estes subprodutos deverão ser caracterizados em função do comportamento físico-mecânico e das possíveis interações com outros materiais. Cada subproduto será caracterizado em função de parâmetros estruturais e geométricos, a fim de identificar as aplicações potenciais como material de substituição à matéria-prima utilizada na construção civil.

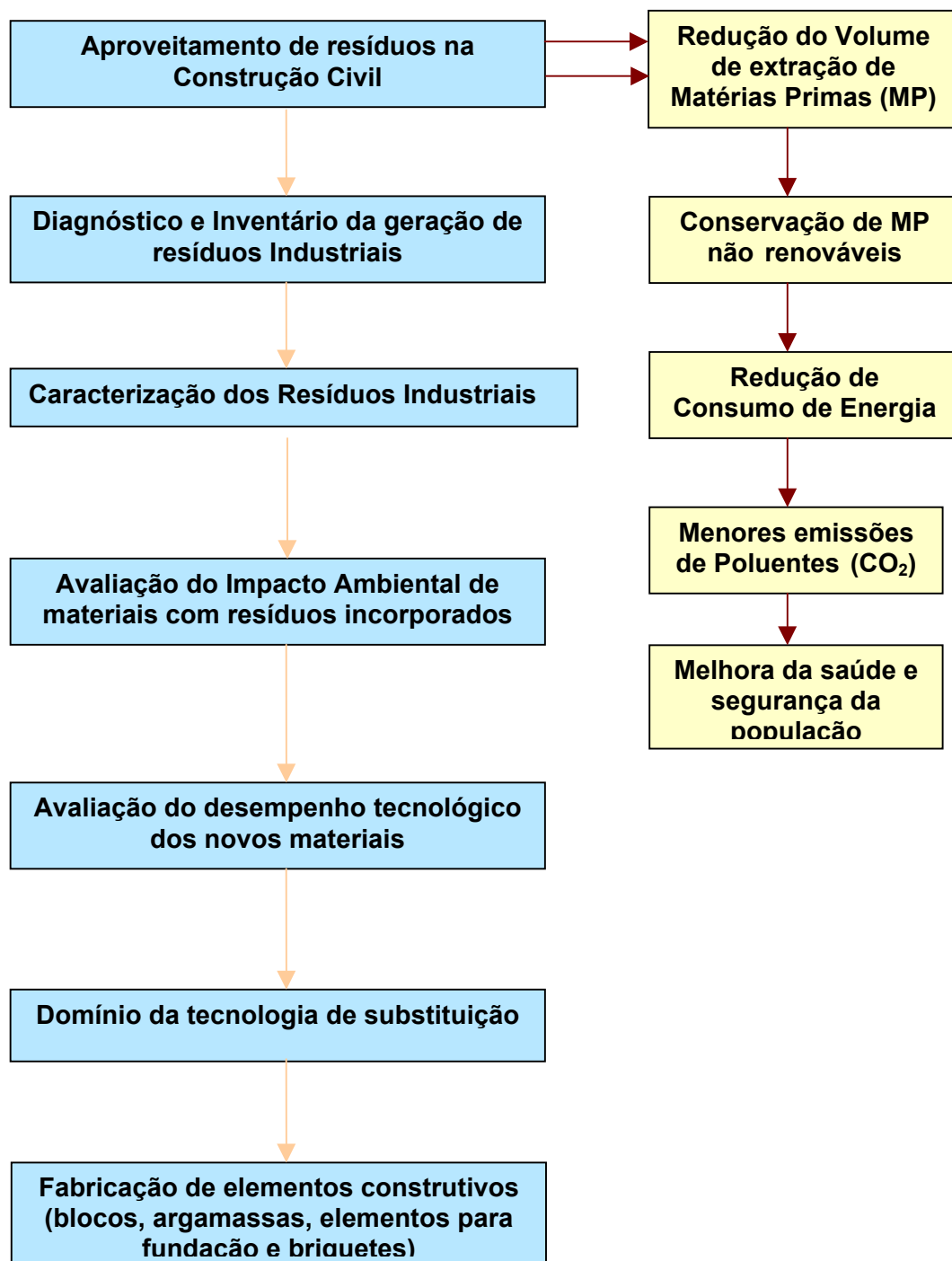


Figura 1.1-Processo de caracterização do uso de materiais, elementos e sistemas construtivos.

Uma vez identificados os parâmetros estruturais e geométricos, são realizados testes experimentais, a fim de avaliar o desempenho tecnológico destes subprodutos como agregados e aglomerantes para a construção civil. A finalidade desta etapa é verificar os possíveis impactos ambientais decorrentes da utilização de materiais residuais na construção civil, impactos estes ao nível do meio ambiente e da saúde das populações.

Assim, a valorização de resíduos produzidos pela indústria tem como finalidade a diminuição do custo de produção e a transformação destes em novos produtos, estabelecendo desta forma uma economia de matérias-primas e energia.

Realizada a avaliação do desempenho tecnológico dos novos materiais como elementos construtivos e dominada a tecnologia da substituição, viabilizando o emprego destes materiais em substituição total ou parcial ao material convencional, têm sido confeccionados componentes para estudos técnicos-econômicos, como por exemplo, blocos para alvenaria. Algumas experiências podem ser citadas sobre a utilização de resíduos, nos mesmos.

Na Espanha, QUERALT et al. (1997) desenvolveram estudos para a confecção de produtos cerâmicos, a partir da mistura binária de cinza de carvão mineral de uma planta termelétrica e barro com boas características plásticas, extraídas do Distrito Federal Teruel, apresentando como resultados a obtenção de uma cerâmica com possibilidades para o uso na fabricação de tijolos convencionais.

CHIES et al. (1995), comentam a avaliação de tijolos maciços compostos de cinzas leves e pesadas, areia e cal, moldados e curados no processo de câmara com temperatura constante, e da cura por autoclavagem, em função da resistência à compressão simples e da absorção de água. Os autores concluíram que os tijolos se enquadram dentro dos valores característicos para blocos cerâmicos recomendados pela NBR 6460.

OLIVEIRA (1993) desenvolveu um trabalho experimental com adição de cinza pesada na argila para a fabricação de tijolos, adicionando de 0 % a 50 % de cinza na sua composição, onde observou que a resistência à compressão decresceu com a adição de cinza, mas se manteve em padrões aceitáveis pela norma brasileira de especificação para blocos de vedação.

Em 1990, ANDRADE & CERATTI avaliaram blocos de cinza volante e cal. Estes blocos mostraram-se adequados à utilização na construção civil em termos de resistência à compressão simples, mas deficientes quanto à absorção, sendo recomendados para o uso em paredes internas.

Desta forma, cada componente a ser utilizado nos processos construtivos deve ser analisado em função do desempenho e da durabilidade. A avaliação deve ser feita em função da característica física-mecânica, da resistência às agressões, ou seja, da capacidade do produto atender às finalidades para as quais foi projetado. Estamos diante de um processo de avaliação da degradação ante as condições de uso.

Este procedimento de análise já vem sendo realizado em muitos países do mundo, dentre os quais podemos nomear: França, Japão, países pertencente à União Européia, Estados Unidos, Austrália, Índia, África do Sul e Brasil, no Instituto de Pesquisas Tecnologia do Estado de São Paulo-IPT como único instituto latino-americano filiado à *World Federation of Technical Assessment Organizations (WFTAO)*.

1.2 JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO TEMA

Como foram realizadas pesquisas em escala piloto pelo Grupo de Valorização dos Resíduos na Construção Civil (Valores) do Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC), Universidade Federal de Santa Catarina, empregando a cinza de carvão mineral obtida dos processos termelétricos, é importante apresentar um panorama geral destes resíduos, já que os mesmos são o subproduto base para a confecção dos materiais e elementos construtivos a serem avaliados neste trabalho.

As cinzas de carvão mineral são subprodutos originados da combustão de carvão mineral. O setor responsável pela maior produção de cinzas no mundo é o da geração de energia elétrica. Com o propósito de se obter um melhor desempenho na queima do carvão, a maioria das usinas termelétricas moem o carvão a uma finura, onde 75% em massa passa na peneira 0,075 mm. O carvão moído é pulverizado no interior da caldeira, passando por várias zonas de aquecimento onde a matéria volátil e o carbono é queimado, enquanto que as impurezas minerais são fundidas e permanecem em suspensão nos gases da combustão. Ao deixar a zona de combustão, as partículas de cinza fundidas são resfriadas rapidamente (de 1500° C para 200° C em poucos segundos), solidificando-se como partículas esféricas vítreas. (POZZOBON, 1999).

Algumas destas partículas se aglomeram para formar as **cinzas pesadas** (*bottom ash*) são recolhidas por via úmida através de esteiras rolantes, enquanto as demais são carregadas pelo fluxo de gás da combustão chamadas **cinzas volantes** (*fly ash*) e são em grande parte capturadas por uma série de filtros ou separadores mecânicos das precipitações eletrostáticas. (POZZOBON, 1999).

Atualmente, devido à grande disponibilidade de cinza volante em todo o mundo, segundo POZZOBON (1999), esta pozolana artificial é empregada em maior quantidade na fabricação de cimento Portland composto, como substituição parcial do clínquer e na produção de concretos e argamassas, como substituição parcial do cimento.

Por este motivo, diversos trabalhos sobre o uso das cinzas volantes na construção civil, foram apresentados, sendo também tema de diferentes congressos nacionais e internacionais. Em 1998, conforme POZZOBON (1999), somente 30,2 % das cinzas geradas no Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda (SC) foram comercializadas. A cinza pesada deste Complexo não foi comercializada. A cinza leve não comercializada (39 %) é umedecida e armazenada temporariamente junto com a cinza pesada em bacias de decantação até que seja esgotada a capacidade de estocagem destas bacias, quando estas cinzas são retiradas e depositas em aterros especiais permanentes.

Segundo PIAZZA & RUI (1999) apud LENZI (2001) afirmaram que “enquanto as cinzas leves têm sido objeto de vários estudos e encontram seu aproveitamento parcial como pozolana, na produção do cimento pozolânico e no concreto, as cinzas pesadas não foram praticamente estudadas e seu aproveitamento é bastante restrito em uso de estrada”.

Em trabalho conjunto com o Grupo de Valorização dos Resíduos na Construção Civil (VALORES) do NPC/UFSC, uma empresa do setor da Construção Civil desenvolveu uma produção em escala piloto de blocos de concreto (com fins estruturais e de vedação), com substituição parcial de matéria-prima convencional, neste caso areia por cinza pesada, proveniente do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e teve resultados satisfatórios em relação às características prescritas pelas Normas Técnicas.

CAVALCANTE et al. (1999) realizaram estudos de dosagens experimentais de peças de concretos para pavimentação e de blocos de concreto (estruturais e de vedação). No processo, as cinzas leves foram incorporadas em substituições em massa de 5;10; 20 e 30 % do cimento Portland empregado no processo convencional e em substituições de 50 e 100 % da areia fina por cinzas pesadas.

Para avaliar o comportamento dos novos elementos construtivos produzidos, foram utilizados os traços e dosagens usadas pelo fabricante e em seguida, foram feitas substituições do material convencional pela cinza pesada. Nas primeiras idades de cura (7 dias), os blocos confeccionados apresentaram uma resistência inferior ao convencional, porém, aos 28 dias de cura, a resistência final da substituição (10%) atingiu um patamar próximo ao do bloco convencional. (CAVALCANTE et al.,1999)

LENZI (2001) avaliou 15 argamassas mistas utilizando o traço 1: 2: 9 (em volume) para revestimento, onde variou o teor de substituição do cimento por cinza leve (20, 30, 40 e 50 % em volume) e o teor de substituição de areia por cinza pesada (0, 50 e 100 % em volume).

A relação água/cimento foi fixada em função da consistência (255 ± 10 mm). A demanda de água aumentou com o aumento dos teores de cinza pesada, induzindo a uma massa específica reduzida (até 28 %), aumento da exsudação e da absorção de água. Por outro lado, houve um aumento considerável na resistência à compressão a partir de 28 dias juntamente com a identificação de atividade pozolânica entre a sílica amorfa da cinza e o hidróxido de cálcio da cal. (LENZI, 2001)

Os resultados apresentados demonstraram o potencial de uso das cinzas pesadas como matéria-prima na fabricação de materiais e elementos de concreto, tanto pelo desempenho mecânico dos elementos fabricados quanto pela importante disponibilidade das cinzas geradas no complexo de Jorge Lacerda. Tendo-se um estudo da viabilidade técnico-econômica da fabricação dos blocos e argamassas de revestimento com cinzas pesadas e o desenvolvimento de produção piloto através de empresas interessadas no processo, os questionamentos fundamentais que orientam as argumentações desenvolvidas nesta pesquisa podem ser assim considerados:

- Qual é o comportamento de uma parede ou painel com blocos e argamassa dosados com cinzas pesadas de carvão mineral incorporados em condições de uso?
- Estes novos materiais propostos seriam capazes de serem duráveis em um período de tempo adequado?
- Que conforto higro-térmico e acústico proporcionaria uma vedação com estes elementos? Que segurança em relação ao ar e a chuva oferecem estes materiais?
- Estes materiais seriam estanques à ação da chuva e do vento?

Depois de identificado o problema, pode-se dizer que, atualmente, são muitos os materiais em aparecimento, com os quais não são realizados os diferentes ensaios de avaliação de desempenho em condições de uso que possam satisfazer as necessidades do usuário.

Existe uma carência de informações relacionadas a estes materiais, que permitam fazer uma análise técnica para decidir pela utilização ou não de tal material alternativo no cumprimento de diversas atividades ou funções da edificação. Sobre o assunto, JOHN (1996) explica que, muitas vezes, se tenta a adequação ao uso de um novo produto através de analogia com produto tradicional. Esta abordagem é inadequada porque as normas desenvolvidas para o controle de qualidade de um produto tradicional são elaboradas considerando os pontos fracos e fortes daquele produto específico, além de alguns requisitos de desempenho fundamentais. O desenvolvimento de um produto novo provavelmente apresentará problemas de outra natureza.

ARAÚJO et al. (1995) mencionam que, em vista do grande déficit habitacional brasileiro, se tem discutido muito a respeito de soluções rápidas e inovadoras que reduzam custos e prazos de construção. Desse modo, cada vez mais, vão surgindo novos sistemas construtivos para habitação, como alternativa aos processos e materiais tradicionais utilizados nesse setor. Entretanto, os novos sistemas propostos raramente são avaliados quanto a seu desempenho frente às condições a que são submetidos.

MITIDIERI e SOUZA (1988) comentam que a necessidade de construção de habitações de interesse social tem propiciado o aparecimento de novos sistemas construtivos como alternativa aos processos e materiais tradicionais, normalmente utilizados no campo da construção. No entanto, esses novos materiais têm esbarrado em uma carência de referências normativas, seja de normas nacionais ou ao nível de códigos de obra municipais, não permitindo um julgamento de aptidão do uso desses sistemas e, conseqüentemente, restringindo sua utilização em larga escala.

Sob essa perspectiva, AGOPYAN (1988) sustenta que o colapso de uma estrutura é na verdade o colapso do material constituinte dessa estrutura, porque ou ele foi incorretamente especificado ou não apresentou as propriedades previstas. O primeiro caso é devido ao desconhecimento do comportamento do material face às ações mecânicas, físicas e químicas a que será submetido.

Algumas vezes, até o tipo e a intensidade dessas ações não são avaliadas corretamente, conduzindo o projetista a especificar empiricamente. O problema de desconhecimento das características dos componentes construtivos em condições de uso existe em todos os lugares, regiões e países, porque está ligado a todo processo construtivo em geral. Os sistemas construtivos não são avaliados em todas suas características devido ao fato, na maioria dos casos, dos materiais que compõem a edificação terem boa resistência estrutural. Os fenômenos analisados ficam em segundo plano e só são avaliados quando a construção está concluída e em condições de uso ou o usuário apresenta algum desconforto.

A solução do problema depende da implementação de metodologias estabelecidas e isto pode ser analisado nas palavras de MITIDIERI e SOUZA (1988) que comentam que a metodologia básica, que se depreende da conceituação relativa à avaliação de desempenho e utilizada no desenvolvimento de pesquisas, pode ser resumida nos seguintes pontos: Identificação das exigências do usuário, identificação das condições de exposição a que está submetido o edifício, definição dos requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos e definição dos métodos de avaliação.

A grande conclusão desse legado é que não se pode empregar novas tecnologias, novos processos e sistemas de construção, sem que estes tenham sido ensaiados ou avaliados. Isto gerou na Inglaterra, assim como no Brasil, um certo ceticismo quanto ao emprego de novas tecnologias. É de conhecimento público no Brasil, por exemplo, o caso dos painéis de cimento e gesso, que se desagregaram em curto espaço de tempo, levando à demolição de aproximadamente 3 mil unidades habitacionais. (MITIDIERI FILHO, 1998)

Como nem todos os produtos empregados nesses conjuntos habitacionais tiveram sua tecnologia devidamente desenvolvida e avaliada, muitos deles, depois de aplicados acabaram apresentando precocemente problemas patológicos, comprometendo aspectos de segurança e habitabilidade.

Em alguns destes casos, ocorreram estados generalizados de degradação, em curto espaço de tempo, comprometendo a durabilidade das habitações. Ressalta-se que o ônus dos serviços de recuperação, quando em menor escala, recaem sobre os próprios usuários. Porém, quando em larga escala, estes recaem sobre a sociedade como um todo, gerando um desperdício de recursos materiais e humanos, o que é inadmissível principalmente em um país tão carente de recursos.

Tudo isso pode perpetuar o descrédito na construção industrializada, o que somente poderá ser revertido com uma nova consciência sobre a avaliação de desempenho e as formas subseqüentes de controle de fabricação e execução ou montagem, onde contribui sobremaneira a sistemática de homologação de produtos e processos na construção civil, baseada em procedimentos de avaliação de desempenho, como mecanismo de melhoria contínua da qualidade dos produtos inovadores.

1.3 DELIMITAÇÕES

Este estudo limita-se à avaliação de desempenho de protótipos de paredes confeccionadas com blocos e argamassa sem e com adição de cinzas de carvão mineral em quanto a sua estanqueidade à água e a sua durabilidade.

As delimitações do trabalho são relacionadas à avaliação de desempenho, devido ao fato que são muitos os parâmetros que precisam ser pesquisados segundo as exigências do usuário para alcançar um estudo completo de todas as informações sobre os componentes construtivos, por isso nem todos foram possíveis de analisar durante o período destinado para o desenvolvimento do trabalho.

Alguns itens serão deixados para trabalhos futuros como: desempenho estrutural, segurança ao fogo, conforto térmico, acústico, gestão da qualidade, conforto tátil e visual, adaptabilidade e segurança no uso.

Outra delimitação é a impossibilidade de desenvolvimento simultâneo de pesquisa de campo em obras construídas com estes materiais (argamassa e blocos com cinzas de carvão mineral).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o comportamento de vedações com blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas pesadas incorporadas em relação a estanqueidade à chuva e ao ar e a durabilidade através de ensaio de envelhecimento acelerado, que permitam uma avaliação do seu desempenho em condições de uso em conjuntos habitacionais.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento de protótipos de paredes com blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas incorporadas;
- Avaliar as dificuldades construtivas de fabricação e montagem dos protótipos de paredes configurados com blocos e argamassas de assentamento e revestimento para aplicação em conjuntos habitacionais como produto final;
- Descrever as características dos blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas pesadas incorporadas;
- Investigar procedimentos de avaliação de desempenho para vedações com blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas de carvão mineral, procurando uma metodologia que permita comprovar seu desempenho quanto ao uso;

- Analisar a operacionalidade, praticidade e eficácia dos ensaios experimentais empregados para avaliação do desempenho dos protótipos de paredes com resíduos incorporados;
- Contribuir para o desenvolvimento tecnológico de blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinza pesada de carvão mineral.

1.5 HIPÓTESES

1.5.1 HIPÓTESE GERAL

Existe possibilidade técnica para a avaliação do desempenho de blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas de carvão mineral incorporados para serem empregados na construção de conjuntos habitacionais.

1.5.2 HIPÓTESES DE TRABALHO

- ◆ Os blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas pesadas possuem desempenho tecnológico satisfatórios, tornando seu uso tecnicamente viável para construções futuras;
- ◆ As vedações com blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas pesadas são duráveis ao longo do tempo;
- ◆ As vedações com blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinza de carvão mineral incorporado proporcionariam isolamento em relação ao ar e à chuva.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, com uma extensão de 127 páginas.

O capítulo 1 compreende a introdução do trabalho de pesquisa, onde é apresentada uma visão geral do trabalho, com a justificativa, objetivos, hipóteses e delimitações da pesquisa.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica referente ao resgate histórico sobre avaliação de desempenho, as instituições encarregadas da avaliação dos novos produtos no mercado da Construção Civil, a metodologia para a realização de tal avaliação, os requisitos e critérios de desempenho baseados nas exigências do usuário como também os métodos e ensaios de avaliação.

O capítulo 3 apresenta a metodologia experimental desenvolvida para a realização do trabalho, mostrando as características dos materiais, a confecção dos protótipos e a execução dos ensaios.

No capítulo 4 são apresentados os resultados do trabalho e a análise dos dados.

No capítulo 5 apresenta-se uma análise geral dos resultados obtidos, as conclusões e as recomendações do trabalho.

No capítulo 6 são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho e citações do texto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESGATE HISTÓRICO DA LINHA DE PESQUISA

Quando tratamos de adotar inovações tecnológicas em edificações, é imprescindível que o conjunto concebido tenha um desempenho satisfatório quando em uso, de modo a não haver comprometimento da segurança e durabilidade da construção e de suas partes. Para ter esta comprovação, é necessário que sejam realizados ensaios, seguindo metodologias para análise do desempenho das edificações, seus elementos e componentes, como aponta LACERDA (2000).

“A palavra desempenho define-se como o comportamento em utilização, caracterizando o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil. Essas influências ou ações atuantes sobre o edifício são denominadas condições de exposição a que o edifício será submetido durante sua vida útil” (MITIDIERI FILHO, 1998).

O desempenho do produto é resultado do equilíbrio dinâmico que se estabelece entre ele e o meio que o circunda. O edifício e suas partes constituintes possuem determinadas propriedades e características que se influenciam mutuamente. Este equilíbrio só ocorre com o edifício em uso, entretanto, é possível prever seu comportamento, ou seja, estimar seu desempenho potencial.

Em função da análise dos resultados, normalmente a partir de uma combinação dos métodos de avaliação, pode ser avaliado o desempenho e fazer uma estimativa do produto (elemento, componente ou sistema construtivo) analisado, isto é, prever seu comportamento potencial, quando em utilização normal.

A avaliação de desempenho é fundamental em requisitos, critérios e métodos de avaliação que permitam constatar se o edifício e seus componentes obedecem às condições exigidas. Numa análise de desempenho é necessário confrontar dois aspectos principais: as exigências do usuário e as condições de exposição a que a edificação está submetida, estabelecendo requisitos de desempenho.

A determinação das condições específicas que definem o nível mínimo de aceitação de cada requisito é chamada de determinação dos critérios de desempenho, que serão comprovados através de métodos de avaliação. O processo de análise segue o esquema abaixo (Figura 2.1):

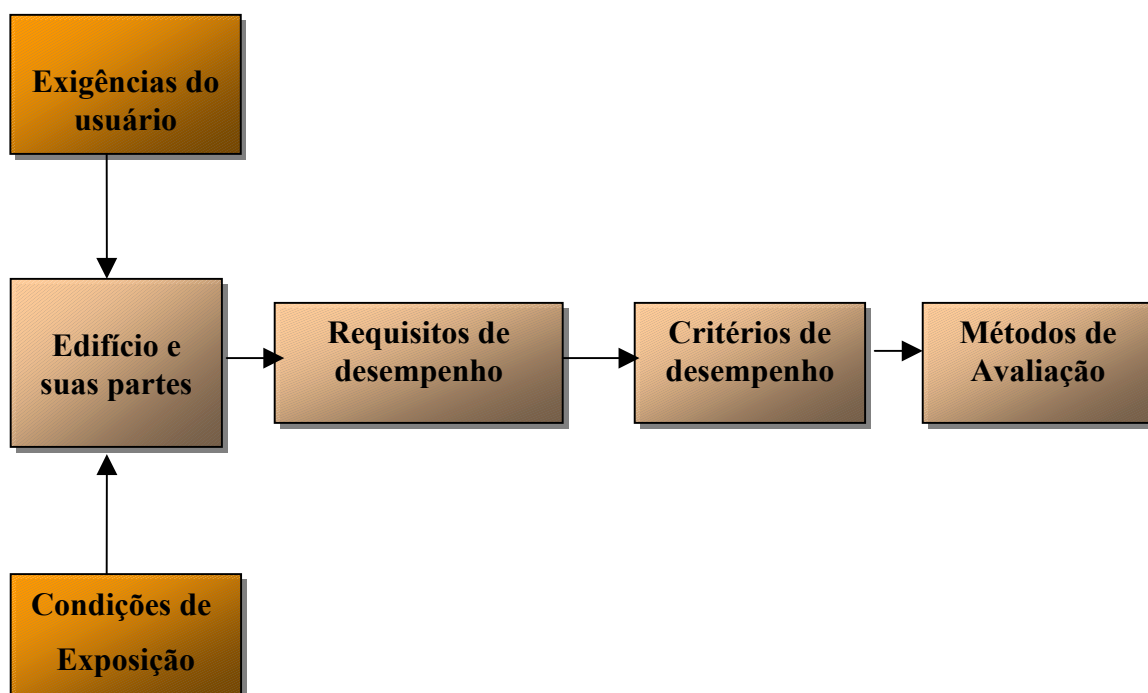


Figura 2.1-Processo de Avaliação de Desempenho - extraída de Souza (1983).

Da avaliação do desempenho de vedações com componentes construtivos, segundo pesquisas realizadas, foi desenvolvida uma metodologia de avaliação por MITIDIERI e SOUZA (1988), sendo apresentada a conceituação e metodologia de ensaios para a avaliação de sistemas construtivos destinados à habitação popular. Isto foi aplicado no Campus Experimental do Jardim São Paulo – Guaianases (SP). Nesta investigação, foram construídas casas embriões geminadas duas a duas, empregando 22 sistemas construtivos diferentes, 11 dos quais foram submetidos à avaliação de desempenho de acordo com a metodologia apresentada, sendo contempladas as exigências relativas à segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, conforto higro-térmico e conforto acústico.

Nos sistemas construtivos avaliados por MITIDIERI e SOUZA (1988), as paredes externas foram construídas com concreto simples, painéis pré-moldados de concreto leve e gesso, blocos de concreto, painéis pré-fabricados sanduíche laminado de madeira revestido com cimento amianto, blocos cerâmicos, painéis pré-fabricados de fibra vegetal, pré-moldados de concreto leve de argila expandida, pré-fabricados de madeira e pré-moldados em ferro-cimento.

Os resultados segundo MITIDIERI e SOUZA (1988) relativos à avaliação quanto à estanqueidade à água as maioria dos sistemas não se apresentaram satisfatórios sendo variadas as causas: fissuração de paredes ou de juntas entre painéis devido a movimentações higrotérmicas. Nos sistemas com paredes em alvenaria estrutural, os pontos mais vulneráveis a infiltrações localizam-se nas juntas entre os blocos e nas juntas entre as paredes.

Em relação à durabilidade a avaliação efetuada por MITIDIERI e SOUZA (1988) observou-se que a maioria dos problemas identificados diz respeito à utilização de detalhes construtivos inadequados que favoreceram a deterioração de materiais e componentes, além disso, a compatibilidade entre materiais empregados conjuntamente.

Por outro lado, o emprego de gesso com cimento, em presença de umidade, propiciou a formação do trissulfo aluminato de cálcio hidratado (etringita), com grande aumento de volume, causando a desagregação do painel por efeito de expansão. No caso esses fatores comprometeram a durabilidade do sistema e, conseqüentemente sua vida útil. MITIDIERI e SOUZA (1988)

LOPES DE OLIVEIRA (1996) avaliou sistemas construtivo inovadores, tomando como estudo de caso a Vila tecnológica de Ribeirão Preto, com 111 habitações distribuídas em 11 sistemas construtivos inovadores, implantada através do projeto PROTEC, programa instituído pela Secretaria Geral da República, e da COHAB-RP, com o objetivo de criar centros de experimentação, demonstração e difusão de inovações tecnológicas, bem como apresentar metodologia de desempenho para cada sistema inovador frente ao padrão de referência.

MITIDIERI FILHO (1998) apresentou as razões que justificam a adoção do conceito de desempenho e da metodologia decorrente para a avaliação de soluções inovadoras, bem como a evolução do conceito através de um histórico de instituições e pesquisadores que se dedicaram e se dedicam ao assunto. São abordadas as contribuições do conceito e da avaliação de desempenho, inseridas em processo de homologação ou aprovação técnica de produtos, como instrumentos de melhoria da qualidade da construção habitacional.

Segundo BAYEUX (2000), há décadas o IPT realiza estudos de avaliação técnicas, mas a sistemática de concessão de referências técnicas é mais recente. Eles atestam o desempenho adequado de um produto ou sistema, sob dadas condições de uso e instalação. Com os ensaios busca-se prever o comportamento potencial futuro dos produtos ou sistemas no ambiente real da edificação. Existem no mundo, institutos dedicados à emissão de certificados de aprovação técnica. Estes certificados são voltados para produtos não normalizados, que passam por avaliação de desempenho nos laboratórios para a comprovação da qualidade. Entre elas podemos nomear:

O Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), na França, que tem como papel aconselhar às autoridades públicas na preparação de regulamentos sobre o desempenho térmico, acústico, segurança de fogo, saúde e higiene.

Os Institutos Building Center Of Japan (BCJ), Center For Better Living (CBL) e o Japan Housing and Wood Technology Center (Howtec) no Japão. O BCJ foi fundado em 1965 e seus propósitos são administrar projetos de pesquisas na arquitetura, avaliar técnicas e materiais de construção recentemente desenvolvidos, colher informações, disponibilizá-las ao público e cooperar com organizações internacionais para aumentar a aplicação de tecnologia de construção em todo o mundo, bem ao estilo da globalização.

O British Board of Agrément (BBA) representa o Reino Unido na European Union of Agrément (UEA) e na Organização Européia para Aprovações Técnicas (WFTAO). Os certificados do BBA têm fornecido informações autorizadas e independentes sobre o desempenho de produtos construtivos durante mais de 30 anos. Todo certificado contém dados importantes como durabilidade e condições de instalação, entre outros.

Atualmente, estas quatro instituições possuem comitês especialmente dedicados à questão do desempenho, como são apresentados a seguir (MITIDIÉRI, 1998):

CIB: CIB W60: “Performance Concept in Building”

CIB TG11: “Performance Based Building Code”

ASTM: ASTM E06: “Performance of Building”

RILEM: RILEM 140 TSL: “Methodologies for service Life Prediction”

ISO: ISO TC 59/ SC3: “Functional/User Requirements in Building Construction”

O CIB, mesmo antes da realização dos congressos específicos de desempenho conjuntamente com as outras instituições, promoveu congressos onde era notória a presença de pesquisadores que tratavam da questão de desempenho. Nomear todos os centros ou instituições de pesquisas que atuam na área de desempenho das edificações não seria nada fácil. Na tabela 2.1, apresenta-se uma sinopse de algumas das instituições que atuam com Aprovações Técnicas de produtos.

Tabela 2.1-Organizações de Aprovações Técnicas (MITIDIERI FILHO, 1998).

Pais	Organização	
Europa	EOTA UEAtc	European Organization for Technical Approvals Union Européene pour l'Agrément technique dans la construcción
Reino Unido	BBA	British Board of Agreement
França	CSTB	Centre Scientifique et Technique du Batiment
Alemanha	DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
Hungria	EMI	Építészeti Minőségellenőrző Intézet
Itália	ICITE	Istituto Centrale per l'Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia
Espanha	IETcc ITEC	Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya
Polônia	ITB	Instytut Techniki Budowlanej
Portugal	LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Bélgica	UBAtc	Union Belge pour l'Agrément technique dans la construcción
Nova Zelândia	BIA BTL	Building Industry Authority Building Technology Limited
Finlândia	VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus
Canadá	CCMC	Canadian Construction Materials Centre
EUA	HITEC ICBO ES	Highway Innovative Technology Evaluation Center International Conference of Building Officials Evaluation Service
	NES	National Evaluation Services, Inc
Argentina	INTI-DC	Instituto Nacional de Tecnología Industrial- Dpto de construcciones
Brasil	IPT(WFTAO)	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A
Austrália	ABSAC CSIRO-DBCE	Australian Building Systems Appraisal Council Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization-Division of Building Construction Eng.
África do Sul	ASA SABS	Agreement South Africa Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde
Índia	CBRI	Central Building Research Institute
Israel	NBRI	National Building Research Institute

2.2 METODOLOGIA BÁSICA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE HABITAÇÕES

As exigências dos usuários são definidas como as necessidades que devem ser satisfeitas pelo edifício, a fim de que cumpra sua função (IPT 1981). Segundo MITIDIERI FILHO (1988), as exigências do usuário, no caso do edifício habitacional, correspondem às exigências humanas que devem ser satisfeitas, sejam elas de caráter fisiológico, sociológico ou econômico. Dentre as abordagens existentes sobre as exigências dos usuários, destaca-se a lista na norma ISO/DP 6241 (*Performance Standards in Buildings-Principles for their Preparation and factors to be considered*, 1984), são elas:

Requisitos de desempenho	Visa
1. Exigências de segurança estrutural	Estabilidade e resistência mecânica e resistência a impactos
2. Exigências de segurança ao fogo	Risco de início e propagação do fogo; tempo de evacuação
3. Exigências de segurança à utilização	Segurança contra invasão e contra agentes agressivos
4. Exigências de Estanqueidade	Impermeabilidade quanto a água, ar, gases e poeira
5. Exigências de conforto higro- térmico	Controle da temperatura do ar; efeitos de condensação
6. Exigências atmosféricas	Pureza do ar e limitações de odores
7. Exigências de conforto visual	Iluminação natural e artificial; possibilidades de escuridão
8. Exigências de conforto acústico	Insolação acústica e níveis de ruído
9. Exigências de conforto tátil	Elettricidade estática, rugosidade, umidade e aspereza
10. Exigências de conforto antropodinâmico	Tamanho, geometria e inter-relação dos espaços
11. Exigências de higiene	Cuidados corporais, abastecimentos de água.
12. Exigências de adaptação à utilização	Acelerações, vibrações e esforços de manobras
13. Exigências de durabilidade	Conservação do desempenho ao longo do tempo
14. Exigências de economia	Custo inicial e custos de manutenção

Tabela 2.2-Exigências do usuário segundo norma ISO 6241.

Pode-se observar que cada uma destas exigências do usuário correspondem a um conjunto de condições de exposição a considerar. A quantificação dessas ações pode assumir vários níveis de dificuldades, podendo se basear na normalização existente, em resultados e experiências acumuladas e em levantamentos efetuados de caracterização do meio físico (condições climáticas, condições de ruído externo) e do próprio uso do edifício.

JOHN et al. (2001) comentam que para produtos da construção, a ISO 6241¹ expressa uma metodologia para a avaliação do desempenho baseadas nas necessidades dos usuários. A metodologia de desempenho constitui uma valiosa ferramenta de apoio para avaliação e determinação do destino final do novo produto. Muitos países têm aplicado metodologias de avaliação e especificações baseadas no desempenho de componentes construtivos, fazendo o processo de avaliação mais fácil.

Segundo SOUZA (1981), varias são as abordagens das exigências humanas na habitação, sendo nomeadas a “Liste de Exigences Humaines em Metiere de Logement” desenvolvido pela comissão W-45 do CIB e apresentada no seu 5º Congresso e a “Necessidades humanas e exigências funcionais da habitação”, LNEC, Memória no 501, Lisboa apresentada por Gomes (1978), mas a nível qualitativo, as exigências elaboradas a partir da norma ISO 6241 para o caso das edificações mostram-se bastante satisfatória. Só que ressaltando que no estabelecimento das exigências do usuário, na medida do possível, dois aspectos devem ser considerados:

- as limitações e peculiaridades de cada região e/ou população a qual se destina o produto habitação;
- que dentre as exigências humanas há aquelas de caráter absoluto e devem ser satisfeitas integralmente (segurança e higiene) e aquelas de caráter relativo em que é possível se estabelecer uma escala de satisfação associada ao seu custo (conforto e durabilidade).

Norma ISO 6241¹- Performance Standards in Buildings- Principles for their Preparation and Factors to be considered (1984)

BONIN (1998) sobre o assunto comenta que no âmbito da ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização)-foi elaborado um conjunto de normas internacionais pela comissão técnica TC-59 abordando a aplicação do conceito de desempenho à construção, do qual pode-se destacar as normas ISO 6241 (ISO, 1985 a) e ISO DIS 7164 (ISO, 1985b) – *Performance standard in building – Definitions and means for the performance of a whole building*.

Também, BONIN (1998) ressalta que o conceito de desempenho foi elaborado na década de 70 e procurou responder às necessidades do processo de produção de edificações daquele momento, não podendo prever todas as mudanças experimentadas desde então. Essas normas necessitam hoje de uma atualização da sua abordagem original para tender às necessidades contemporâneas como: percepção sensorial e simbólica da edificação.

2.2.1 REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Os requisitos e critérios de desempenho, embora representem uma ferramenta essencial no desenvolvimento de produtos, não são suficientes. Contudo, para se atingir um produto técnica e economicamente viável, diversos outros fatores relacionados à engenharia de produtos, a aspectos psicológicos e a condicionantes mercadológicos deverão ser levados em conta no processo de desenvolvimento, estando o grau de êxito da inovação diretamente vinculado à profundidade e à correção das análises efetuadas.

Na figura 2.2, apresenta-se sob a forma de fluxograma uma metodologia básica que pode ser seguida no desenvolvimento de um sistema construtivo. Tal metodologia, que mediante a consideração de fatores peculiares, poderá ser adotada no desenvolvimento de componentes isolados ou de sistemas construtivos destinados a outros usos que não o de habitação.

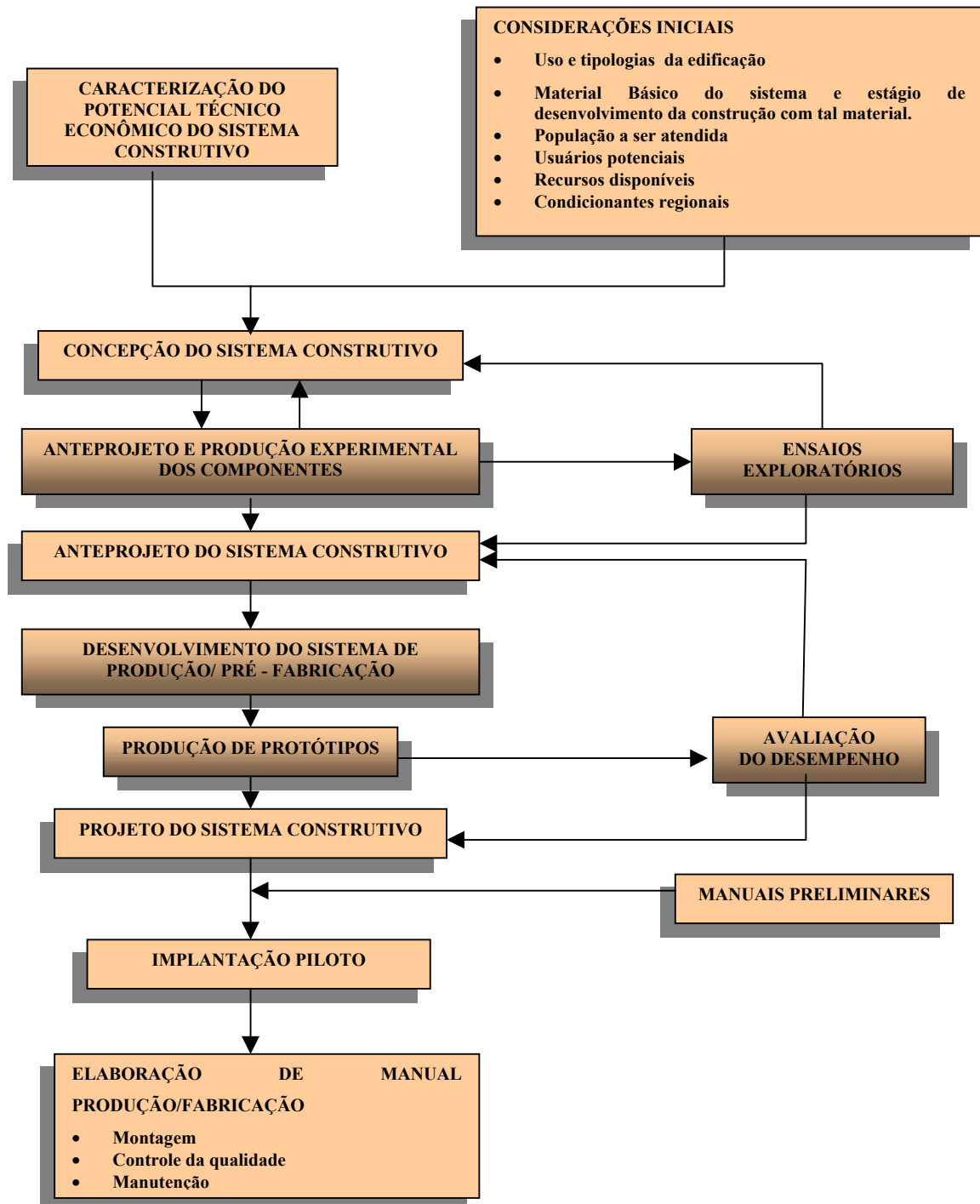


Figura 2.2-Metodologia Básica para o Desenvolvimento de um Sistema Construtivo (Fonte: Thomaz, 1988).

2.2.1.1 REQUISITOS DE DESEMPENHO DE PAREDES EXTERNAS

A realização de um programa de ensaios de avaliação de desempenho de paredes externas requer o conhecimento dos requisitos de desempenho que o revestimento deve apresentar, devido às funções da parede na edificação. As paredes externas das edificações constituem o elemento que desempenha função de separar o ambiente interno do ambiente externo. Deve resistir às solicitações tanto do meio interno, quanto do meio externo a que estão submetidas.

A Figura 2.3 ilustra as solicitações a que as paredes estão sujeitas, a partir das quais podem ser caracterizadas as diversas exigências do usuário. Algumas merecem importante destaque, no caso de conjuntos habitacionais, do ponto de vista tecnológico, quais sejam: segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, conforto térmico, conforto acústico e durabilidade. A seguir passamos a comentar cada uma destas exigências²:

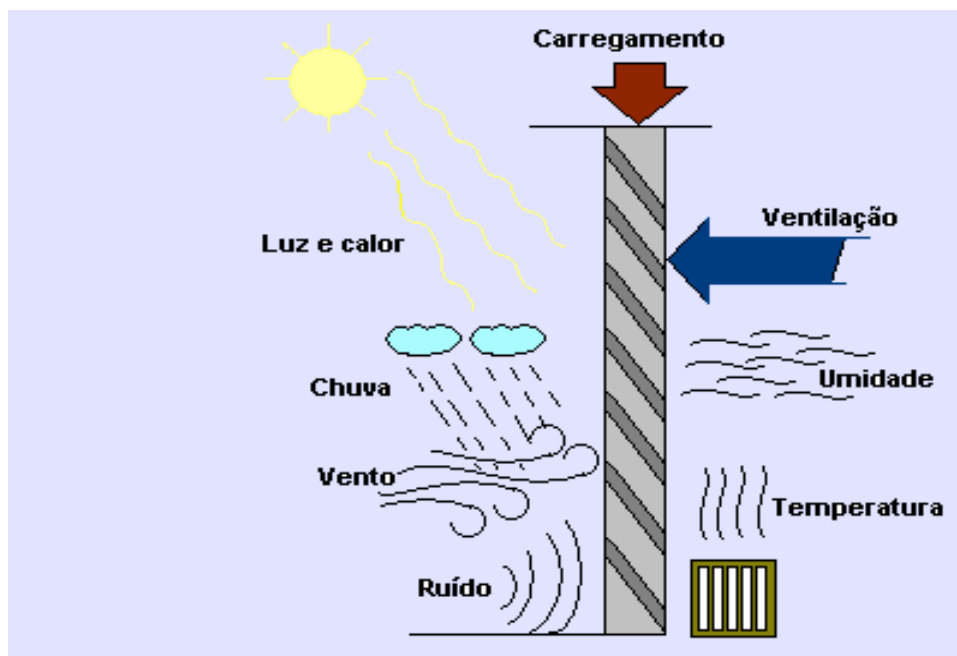


Figura 2.3-Solicitações impostas às superfícies externas da edificação, (Fonte Boletim 68, IPT).

EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA ESTRUTURAL:

Os requisitos de desempenho devem ser fixados visando garantir que não atinjam o estado limite último e de utilização. O estado limite último corresponde à ruína do elemento ou parte dele, seja por ruptura, deformação excessiva ou perda de estabilidade. O estado limite de utilização corresponde ao estado em que o elemento ou parte dele deixa de satisfazer às condições previstas para sua utilização ou tem sua durabilidade comprometida, seja por fissuração excessiva ou por deformações que ultrapassem os limites aceitáveis para utilização do elemento².

EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA AO FOGO:

Os requisitos de desempenho devem limitar a influência dos materiais e elementos do edifício na alimentação e propagação de um foco de incêndio acidental, interno ou externo à habitação e garantir que os elementos construtivos tenham uma resistência mínima ao fogo. Neste caso, os critérios se traduzem na limitação dos índices obtidos pelos elementos e suas partes, quando submetidos aos ensaios de resistência e de reação ao fogo. Os métodos de avaliação quanto à resistência ao fogo abrangem elementos de coberturas, paredes externas e internas e os de reação ao fogo visam os materiais de acabamento superficial dos elementos. A análise do projeto visa verificar o atendimento de disposições construtivas que evitem a propagação do fogo entre compartimentos do edifício e entre edifícios e a facilidade de evacuação da habitação incendiada².

² MITIDIERI FILHO, C. V. *Avaliação de Desempenho de Componentes e Elementos Construtivos Inovadores destinados a Habitações: Proposições Específicas à Avaliação do Desempenho Estrutural*. Tese Doutoral. São Paulo. Escola Politécnica. 1998.

EXIGÊNCIAS DE ESTANQUEIDADE:

Os requisitos de desempenho quanto a estanqueidade ao ar devem limitar a permeabilidade ao ar das fachadas e coberturas, de modo a permitir que nas condições críticas de inverno, as exigências de conforto higro-térmico sejam satisfeitas. Quanto a estanqueidade à água, devem garantir a estanqueidade dos elementos do edifício à água proveniente das chuvas, do solo e de operações de limpeza e/ou uso.

Os métodos de avaliação quanto à estanqueidade incluem a realização de ensaios de permeabilidade ao ar e estanqueidade à água em fachadas, pisos e coberturas. A análise do projeto visa verificar o atendimento de disposições construtivas, especialmente no que se refere às juntas entre componentes ou entre elementos, declividade e condições de escoamento da água, barreiras à ação da água, etc., que garantem a estanqueidade dos elementos requeridas pelos critérios. A inspeção em protótipos, quando possível, é elemento importante para a coleta de subsídios complementares para a realização da avaliação.

EXIGÊNCIAS DE CONFORTO TÉRMICO:

Os requisitos e critérios de desempenho inicialmente estabelecidos no Brasil, pelo IPT visavam limitar as propriedades térmicas de elementos do edifício (como resistência térmica de paredes externas) de modo a satisfazer as exigências do usuário no verão e no inverno, relativas à temperatura do ar no interior da habitação, risco de condensação e presença de superfícies muito aquecidas ou muito frias.

Estes requisitos foram fruto de análises em regime permanente, ou seja, sem considerar a variação de temperatura exterior ao longo do dia. Atualmente o enfoque é diferente, sendo a análise efetuada em regime dinâmico, considerando a resposta do edifício, ou seja, do conjunto de seus elementos a uma determinada condição de exposição, no verão e no inverno.

EXIGÊNCIA DE CONFORTO ACÚSTICO:

Os requisitos de desempenho devem conseguir o isolamento sonoro de elementos que dividem dormitórios e salas de estar em relação ao ruído externo à habitação e ao ruído interno produzido em recintos adjacentes, inclusive ruído provenientes de habitações contíguas e ruídos de equipamentos hidráulicos, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário relativas à privacidade acústica para o repouso e para descanso da família.

DURABILIDADE:

Os requisitos de desempenho devem avaliar o nível de degradação de material e componente, quando submetidos a ensaios que aceleram a ação dos agentes agressivos atuantes sobre o edifício. Devem também impedir a utilização conjunta de materiais com incompatibilidade física e/ou química e de detalhes construtivos que possam contribuir para a diminuição da vida útil do edifício e seus elementos. Ressalta-se que os critérios relativos à durabilidade não prescrevem a vida útil do edifício, mas apenas fornecem indicações do comportamento de suas partes ao longo do tempo, permitem a identificação de componentes que possam vir a ser repostos ou devam ser submetidos a manutenção periódica.

Os ensaios acelerados feitos em materiais e componentes simulam a ação do calor, umidade, radiação ultravioleta, intempéries, agentes de limpeza, atmosferas poluidoras, agentes biológicos, água e abrasão. A análise do projeto e a inspeção em protótipo visam identificar incompatibilidade de materiais e detalhes construtivos que possam afetar a durabilidade.

2.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Definidos os requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos pelo edifício, seus elementos e componentes, são necessários métodos uniformizados de avaliação, que permitam verificar se tais produtos atendem aos requisitos e critérios fixados. (MITIDIERI FILHO, 1998)

Os métodos de avaliação estão associados a:

- Medidas de propriedades definidas e mensuráveis dos materiais e componentes do edifício, tratando-se de medidas a partir de ensaios de caracterização;
- Ensaios e medidas onde se tenta reproduzir as condições de exposição de uma maneira simplificada e padronizada, tratando-se de ensaios de desempenho (por ex. impactos de corpo mole e corpo duro, solicitações transmitidas por portas, solicitações transmitidas por peças suspensas, etc.);
- Cálculos, onde são adotados modelos teóricos matemáticos do comportamento do produto e por via analítica, a partir das condições de exposição e certas propriedades dos materiais e componentes. Estima-se tal comportamento e verificam-se se este satisfaz aos requisitos e critérios de desempenho, por exemplo, (cálculo do nível de segurança de uma estrutura quando submetida a esforços de vento);
- Julgamento técnico, baseado no conhecimento de especialistas e em experiência acumulada, através da análise do projeto e inspeções em protótipos dos produtos, em fábricas ou usinas.

Um ponto de vista a se destacar na definição dos métodos de avaliação, diz respeito à reprodutividade dos métodos de ensaios, extremamente relevante quando se trata da análise de viabilidade de utilização de um produto.

Os métodos de avaliação incluem a realização dos ensaios seguintes:

Exigências de Segurança Estrutural:

- 1) Ensaio de compressão excêntrica;
- 2) ensaio de carga horizontal uniformemente distribuída;
- 3) ensaio de carga horizontal concentrada em paredes externas e divisórias internas;
- 4) ensaio de solicitações transmitidas por cargas provenientes de peças suspensas;
- 5) ensaio de impactos de corpo mole;
- 6) ensaio de impactos de corpo duro.

Exigências de Segurança ao Fogo:

- 7) Ensaios de resistência ao fogo, envolvendo os ensaios de determinação da incombustibilidade, da propagação superficial de chama; densidade ótica de fumaça e do calor potencial;
- 8) ensaios de reação ao fogo.

Exigências de Estanqueidade:

- 9) Ensaios de estanqueidade à água.

Exigências de Conforto Térmico:

- 10) Ensaio de condutibilidade térmica;
- 11) calor específico e massa específica.

Exigências de Conforto acústico:

- 12) Ensaios de isolamento acústico;
- 13) ensaios de absorção acústica.

Durabilidade:

- 13) Ensaios de envelhecimento natural (onde corpos de prova são expostos a atmosfera e sua degradação monitorada);
- 15) ensaios acelerados (em câmara de envelhecimento);
- 16) inspeções de campo (que consistem na observação de materiais e componentes em uso. Podem ser feitas com equipamentos ou não).

O desempenho de componentes e elementos construtivos envolve determinadas exigências, que devem ser verificadas através de metodologias que utilizam, como ferramentas, ensaios experimentais padronizados. Os resultados obtidos são expressos em termos quantitativos, sob forma de condições de utilização, que podem ser comparados aos critérios limites de desempenho. Deste modo, é possível comprovar o desempenho dos elementos das edificações ou serem detectadas falhas ou limitações que deverão ter suas causas investigadas de modo que intervenções corretivas sejam realizadas na configuração do sistema.

A maneira de conclusão das colocações anteriormente expostas pode-se dizer que a metodologia básica a ser assumida na aplicação do conceito de desempenho à habitação, seus elementos e componentes, pode ser sintetizado nos seguintes itens:

- a) Identificação das exigências do usuário a serem satisfeitas.
- b) Identificação das condições de exposição.
- c) Listagem dos requisitos de desempenho a serem atendidos pela habitação, seus elementos e componentes (expressos qualitativamente).
- d) Definição dos critérios de desempenhos a serem atendidos (expressos quantitativamente).
- e) Definição dos métodos de avaliação a serem adotados envolvendo métodos de ensaios e medidas e procedimentos de cálculo.

No âmbito deste trabalho, os requisitos e critérios de desempenho em relação à durabilidade e à estanqueidade, foram empregados para a avaliação de protótipos de paredes de blocos com cinzas pesadas e revestidos com um tipo de argamassas com cinzas leves e pesadas incorporadas, verificando-se tanto o desempenho da solução técnica em si, quanto a aplicabilidade dos métodos de avaliação para análise de desempenho.

2.3.1 REQUISITOS E CRITÉRIOS DA ESTANQUEIDADE

Os painéis, paredes, vedações verticais e demais elementos componentes da fachada devem ser estanques à água proveniente da chuva incidente ou outras fontes, facilitando a manutenção, contribuindo para sua durabilidade e mantendo os espaços construídos do edifício livres da ação da umidade. Por isso devem ser projetados de modo a evitar a penetração de água quando expostos à *chuva incidente*². (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Projeto 02:136.01.004)

RAGO et al. (1994) comentaram que no meio externo, sol e chuva causam ciclos de molhagem e secagem. A chuva sozinha pode prejudicar o desempenho das paredes externas devido ao fato que ao penetrar nos poros do revestimento carregam partículas e substâncias dissolvidas para a superfície. Assim se as paredes que estiverem em contato como o solo, e permanentemente úmidas, terão conseqüentemente o revestimento deteriorado ao longo do tempo.

Segundo SOUZA (1988) em pesquisas desenvolvidas na Bélgica verifica-se que a exigência de estanqueidade é considerada como fator predominante dentre os requisitos avaliados pelos usuários, uma vez que infiltrações podem ser conseqüências danosas, tais como:

- Diminuição da durabilidade dos materiais da fachada;
- aumento da umidade no edifício;
- formação de bolores, que podem provocar alergias.

2 Chuva incidente - precipitação combinada com ação do vento que eleva a pressão atmosférica no ambiente exterior da edificação, provocando infiltração de água mesmo por pequenos orifícios e fissuras da vedação externa.

Tabela 2.3-Exigência e prioridade (Fonte: Sousa,1988).

PRIORIDADE DAS EXIGÊNCIAS	
EXIGÊNCIA	PRIORIDADE
ESTANQUEIDADE	
A Água	I (Essencial)
Ao ar	II (Muito Importante)
A Neve e Poeira	II
Eficácia de Evacuação de Águas Pluviais	I

Em estudos realizados pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC),1996, concluiu-se que 37 % dos problemas constatados em edificações tem como causa principal a umidade. Destes, 57 % são devidos a infiltrações, sendo 52 % pelas alvenarias ou juntas. Nas edificações são diferentes as fontes de umidade, como infiltração pelo solo, umidade atmosférica, umidade por precipitação e umidade accidental.

No caso de umidade por precipitação, as condições para que tenha penetração de água, são:

- Existência de um filme de água;
- aberturas que permitem sua passagem;
- forças que direcionem sua penetração.

SOUSA (1988) aponta que o grau de exposição a que a edificação está sujeita é decorrente da superposição dos fatores climáticos (chuva e vento) e das características arquitetônicas do prédio. As construções em alvenaria apresentam características que favorecem a infiltração. Para obter bom desempenho das alvenarias externas em relação à estanqueidade a umidade é preciso analisar a influência dos materiais, mão de obra e interface argamassas - elemento construtivo. Afirma que a estanqueidade da alvenaria é aumentada quando se reveste a parede com argamassa. Fatores como traço e a espessura do reboco são condicionantes do desempenho que devem ser analisados como um todo.

Tendo em vista que a umidade é uma das principais causas de distúrbios nas construções, em particular a presença da umidade na fachada proveniente das precipitações direcionadas pelos ventos até a parede. Na França, segundo comenta FLORI, (1989) a divisão climatológica do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) desenvolveu uma pesquisa baseada na instalação de um dispositivo experimental que permite seguir as flutuações em teor de água de um material.

O mesmo está instalado na superfície da fachada e é capaz de captar a chuva incidente, o gotejar, a temperatura e a umidade em superfície e das paredes próximas. Paralelamente, uma estação climatológica de referência é situada a 50 metros da parede fornecendo as medidas das condições climáticas do local: quantidade de água incidente livre sobre o plano paralelo à parede, precipitações, velocidade e direção do vento, radiação solar global, temperatura e umidade do ar. (FLORI, 1989).

As informações fornecidas são gravadas permanentemente por um sistema automático da aquisição de dados. O objetivo da pesquisa é estimar um modelo simplificado da evolução dos teores de umidade em cada tipo de material a partir dos dados disponíveis das estações meteorológicas. Com uma possível aplicação na construção, são definidos os períodos e as propriedades mecânicas e térmicas do material, podendo ser modificados e delimitando os riscos a serem apresentados pelos materiais porosos para com o decorrer do tempo. (FLORI, 1989).

Segundo comenta FREITAS et al. (1996), a pesquisa sobre os transtornos que ocasionam a umidade em materiais de construção é extremamente importante para a caracterização do comportamento em relação com a durabilidade, impermeabilidade e desempenho térmico. O problema da umidade na construção tem gerado grande interesse e até o momento é umas das causas da destruição da estrutura da edificação. Por isso a importância para o desenvolvimento de estudos, valendo salientar que as diferentes colocações científicas assumidas têm sido freqüentemente difíceis devido à complexidade do problema.

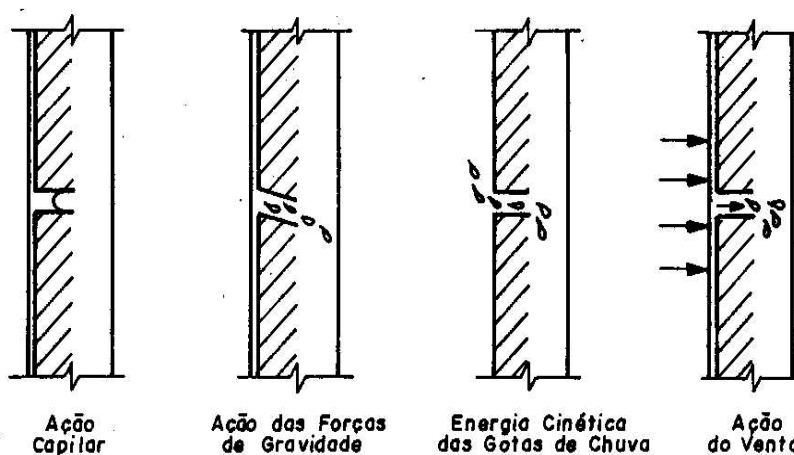
THOMAZ e RANIERI (1998) afirmam que a estanqueidade à água dos componentes e elementos da edificação são de fundamental importância para a saúde dos usuários, evitando que a umidade venha a propiciar o desenvolvimento de fungos e a conseqüente manifestação de doenças pulmonares. Da mesma forma, a estanqueidade à água está diretamente associada à durabilidade da edificação, já que através da umidade se desencadeiam diversos processos degenerativos, tais como fissuras (movimentação higroscópicas), desagregações, lixiviação, corrosão de metais, apodrecimento de madeiras, etc.

Sobre a ação da chuva nas vedações BARTH (2000) comenta que a forma e a quantidade de água que incide na envolvente do edifício são fatores determinantes do comportamento. Assim como a rugosidade e porosidade do material de acabamento externo interferem também na absorção de água e no regime de escoamento. Além disso, aponta que fachadas compostas por varias camadas de materiais e componentes podem apresentar cavidades ou juntas, que abertas ou parcialmente abertas ao exterior podem por ação da gravidade, por efeito das tensões capilares, pela ação do vento, ou ainda pela combinação destes fenômenos, propiciar a passagem de água nas camadas internas da vedação e/ou do ambiente interior do edifício.

O avanço da umidade nos painéis aconteceu por capilaridade através das juntas, isso pode ser justificado pelo comentado por PHILIPPI et al. (1993) dado que os materiais usualmente empregados nas edificações apresentam uma estrutura porosa, permitindo ser capazes de fixar e transferir a umidade tanto em fase líquida (como neste caso) quanto na fase gasosa. Quando na fase líquida, a umidade é fixada e transferida na estrutura porosa através de processo dito de capilaridade. É desta forma que a umidade do solo e das chuvas se introduz nos paramentos porosos das edificações.

Segundo PHILLIPI et al. (1993) não existe, uma distinção entre os mecanismos de fixação e transferência de líquido e vapor, num material poroso. De fato o vapor absorvido em fase líquida na superfície do material será transferido para o interior tanto por mecanismo de difusão quanto por mecanismo de capilaridade. Há uma concorrência entre os mecanismos de transporte por difusão e por capilaridade sendo muito difícil separar os dois efeitos em virtudes dos processos de mudança de fase que ocorrem nas interfaces vapor – líquido.

A figura 2.4 mostra as maneiras que podem ocorrer a penetração de água de chuva pelas aberturas existentes nas fachadas dos edifícios.



**Figura 2.4 -Forças que empurram a água pelas aberturas de uma parede.
(Fonte: POLISSENI,1986)**

DIAMAND (1967) apud POLISSENI (1986) aponta que numa parede maciça a penetração de água ocorre:

1. devido somente a energia cinética, quando a gota de chuva impulsionada contra a parede encontrar uma abertura que tenha largura superior a 4,5 mm;
2. devido a capilaridade, quando a água de chuva encontrar uma abertura com largura menor que 0,5 mm;

3. devido a gravidade, quando abertura esta em posição descendente e possui uma dimensão superior a 0,5 mm,
4. devido a pressão do vento, quando a abertura possui dimensões entre 0,0013 e 6mm.

Devido à pressão do vento e capilaridade concomitante, quando a água é transportada por ação capilar até o seu limite e a pressão do vento que atuando, empurra ainda mais a água para o interior da parede, podendo chegar até a face oposta.

A quantidade de água absorvida por um material de construção depende de dois fatores: porosidade e capilaridade. O fator mais importante que rege a variação do teor de umidade dos materiais é a capilaridade. Na secagem de materiais porosos, a capilaridade provoca o aparecimento de forças de sucção, responsáveis pela condução da água até a superfície do componente, onde ela será posteriormente evaporada.(THOMAZ, 1996).

Sobre o fenômeno que ocorre quando são submetidos corpos-de-prova a ensaios de penetração de água por capilaridade HALL (1989) apud KROPP (1995) têm analisado os diferentes fatores que afetam a medição da absorção de água. O volume de água absorvido i aumenta freqüentemente com a raiz quadrada do tempo transcorrido.

$$i = S \sqrt{t}$$

Onde S é “sortivity”. Se o conteúdo de água inicial não é uniforme a absorção em função da \sqrt{t} não será observado. A variação do comportamento de \sqrt{t} será observado para amostras de estrutura porosa exibindo pouca absorção. O preenchimento das porosidades abertas na superfície de absorção será geralmente a causa de apresentar valores pequenos e positivos na interseção no eixo \sqrt{t} . Assim, os valores são ajustados na equação (4. 1):

$$i = A + S \sqrt{t} \quad (4.1)$$

onde A é um valor positivo.

Sobre o assunto HALL (1977) apud McCARTER (1996) aponta que o movimento de água em materiais de construção porosos (parcialmente saturado) é normalmente analisado pela equação clássica (4.1) em função da raiz do tempo (assumindo um fornecimento contínuo de água na superfície de absorção). Nesta equação i é o volume de água absorvido acumulado por área da unidade da superfície de absorção (mm^3/mm^2), t é o tempo decorrido (usualmente em minutos ou horas) e S é a sortivity do material ($\text{mm}/\text{min}^{1/2}$ ou $\text{mm}/\text{h}^{1/2}$). A é um termo constante como valores invariáveis apresentados no eixo y quando $t=0$. A “sortivity” S , é obtido empiricamente pela inclinação da curva i vs \sqrt{t} .

Alem disso, McCARTER (1996) comenta que compreensão da equação e do processo que envolve é muito importante já que esta análise tem sido usada para avaliar e quantificar a eficiência de aderência para alvenaria e substratos de concreto quando as amostras são submetidas a series ciclos de absorção com variações de tempo tipicamente desde 20 minutos a 24 horas.

2.3.1.1 MÉTODOS DE ENSAIOS MAIS DIFUNDIDOS E PRECONIZADOS POR CENTROS DE PESQUISAS.

Segundo POLISENI (1986) de maneira geral, testes de estanqueidade à água em paredes são realizados somente em laboratório, por meio da simulação de chuva e vento incidindo sobre uma face de uma parede com o intuito de avaliar o desempenho da parede à infiltração de água, durante um determinado tempo, sob condições específicas de vazão de água e pressão pneumática de acordo com cada método de ensaio. A seguir são nomeados os métodos de ensaios mais difundidos e preconizados por centro de pesquisas.

2.3.1.1.1 Método de ensaio preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

Para avaliação dos requisitos e critérios definidos, existem dois métodos de ensaio que são: 1) Estanqueidade à água: verificado através da simulação de chuva e vento incidindo sobre corpos de provas durante um tempo determinado.

- 2) Verificação “in situ” da permeabilidade à água de fachadas: O ensaio consiste em submeter um trecho de parede revestida à presença de água, com pressão constante, por meio de uma câmara acoplada à parede.

No caso do ensaio da estanqueidade são ensaiados pelo menos dois corpos de provas com dimensões mínimas de 105 cm de largura e comprimento de 135 cm, não havendo restrições para a espessura. A aspersão de água e a pressão pneumática sobre o corpo de prova são de $3,0 \pm 0,3$ l/min e $30 \pm 0,5$ Pa respectivamente e devem ser mantidas durante 7 horas. Para a realização do ensaio é utilizada uma câmara de formato prismático. (Figura 2.5)

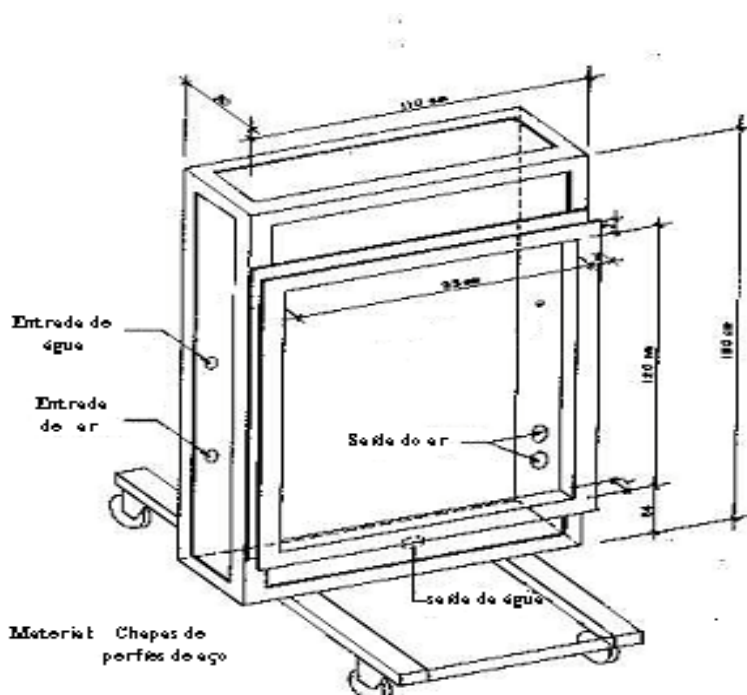


Figura 2.5-Câmara de estanqueidade à água usada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

2.3.1.1.2 Método de ensaio de estanqueidade à água preconizado pelo Departamento de Engenharia Estrutural da Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, localizada na cidade de Porto Alegre.

O ensaio consiste em submeter a face de exposição de um painel de 1,0 m² de área a quatro chuveiros horizontais que simula condições de precipitação pluviométrica, com jatos de água distribuídos uniformemente por toda a superfície durante 12 horas, cronometrando-se o tempo necessário para a formação de manchas de umidade na face oposta do painel. (vide Foto 2.1).

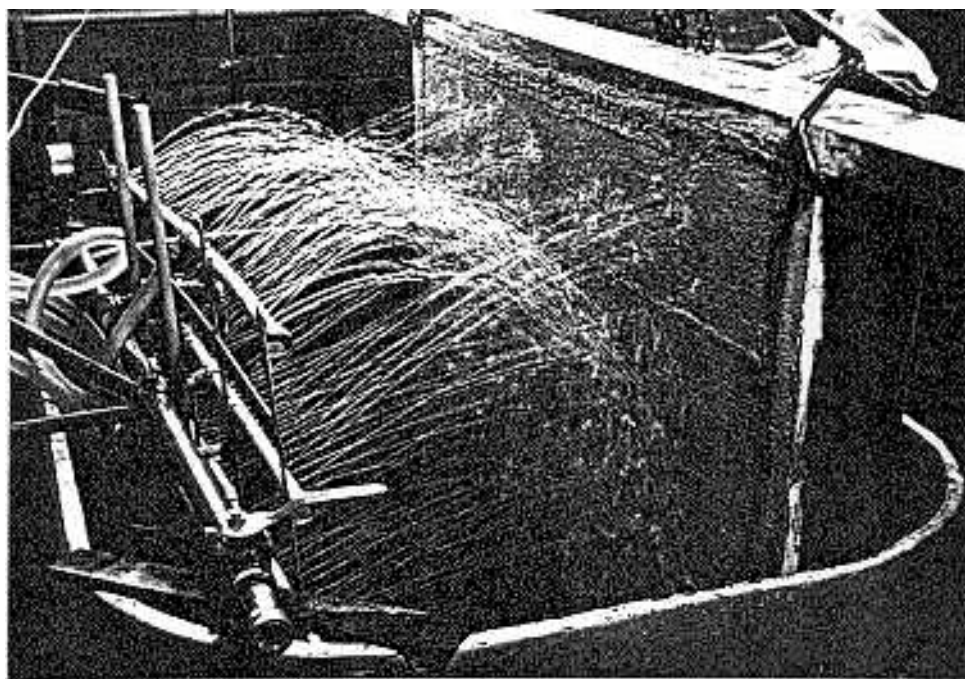


Foto 2.1-Vista parcial do equipamento usado para a execução de ensaio de estanqueidade à água utilizado pela Fundação de Ciências e Tecnologia - CIENTEC.

São moldados três corpos de provas, a face de observação (face oposta à aplicação de água) de cada painel recebe uma pintura de cal para evidenciar as manchas de umidade que porventura apareçam.

As características da aparelhagem de ensaio são: superfície molhada de 1,21 m x 0,83 m; distância dos chuveiros ao painel de 0,40 m; distâncias entre chuveiros de 0,20 m; inclinações médias de incidências dos jatos sobre a superfície de 80°, 40°, 80°, 88° e vazão de aspersão d' água de 1,80 m³/hora o que simula uma chuva de 1800 mm/hora.

Este método de ensaio é semelhante ao primeiro método idealizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment onde era aplicado pressão pneumática simultaneamente com aspersão de água sobre o corpo de prova.

2.3.1.1.3 Método de ensaio preconizado pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB.

O princípio do método se caracteriza pela pulverização de água e pressão de ar constante sobre a face exterior de uma parede. O ensaio é realizado em uma câmara (vide Figura 2.6), em um corpo de prova (parede revestida) de dimensões mínimas de 1,50 m x 1,50 m.

Neste caso as características do método são: a vazão de aspersão d' água de 24 l/m/h, pressão de ar constante e igual a 100 Pa, no interior da câmara, tempo de execução igual a 24 hora.

As principais observações e medidas são: peso da parede antes e após o término do ensaio (verificação da absorção de água), observação do tempo e local de aparecimento do vazamento de água na face oposta a que recebeu a incidência de jatos d' água e medição da quantidade de água que se infiltrou e escoou pela face interna da parede.

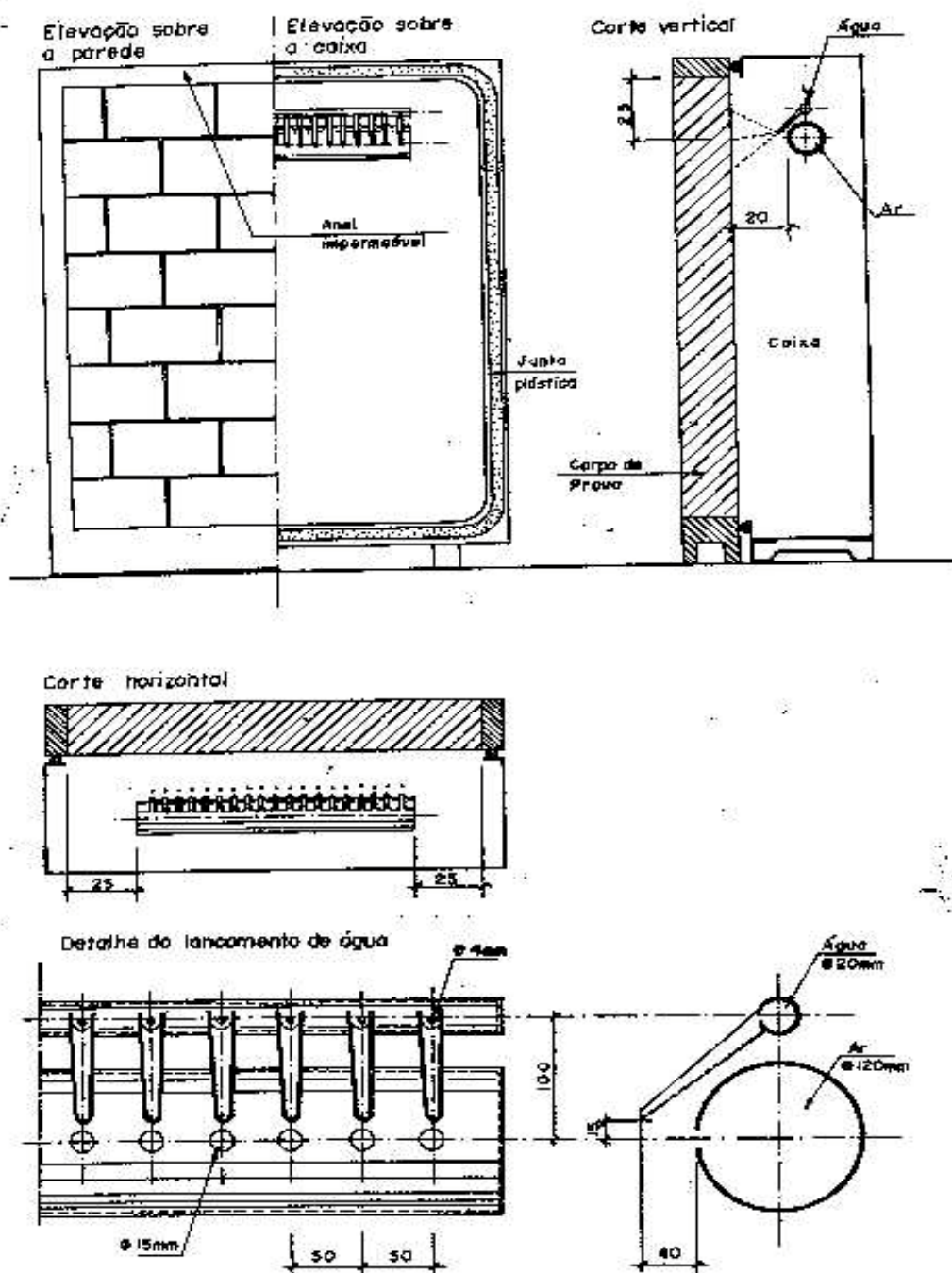


Figura 2.6 - Câmara de ensaio de estanqueidade à água utilizada pelo Centre Scientifique et Technique du Batiment – CSTB.

2.3.1.1.4 Método de ensaio preconizado pela American Society for Testing and Materials – ASTM.

Este método realizado em 1974 consiste em colocar um corpo de prova de dimensões 1,21 m e 0,92 m dentro de uma câmara (Figura 2.7) e em seguida aspergir sobre o mesmo jatos de água à vazão de $2,31 \text{ l/m}^2 \cdot \text{min}$ e simultaneamente aplicar uma pressão de ar de 479 Pa durante 24 horas. Após as 24 horas de ensaio o corpo de prova fica em observação por mais de dois dias para a verificação do aparecimento de mancha de umidade

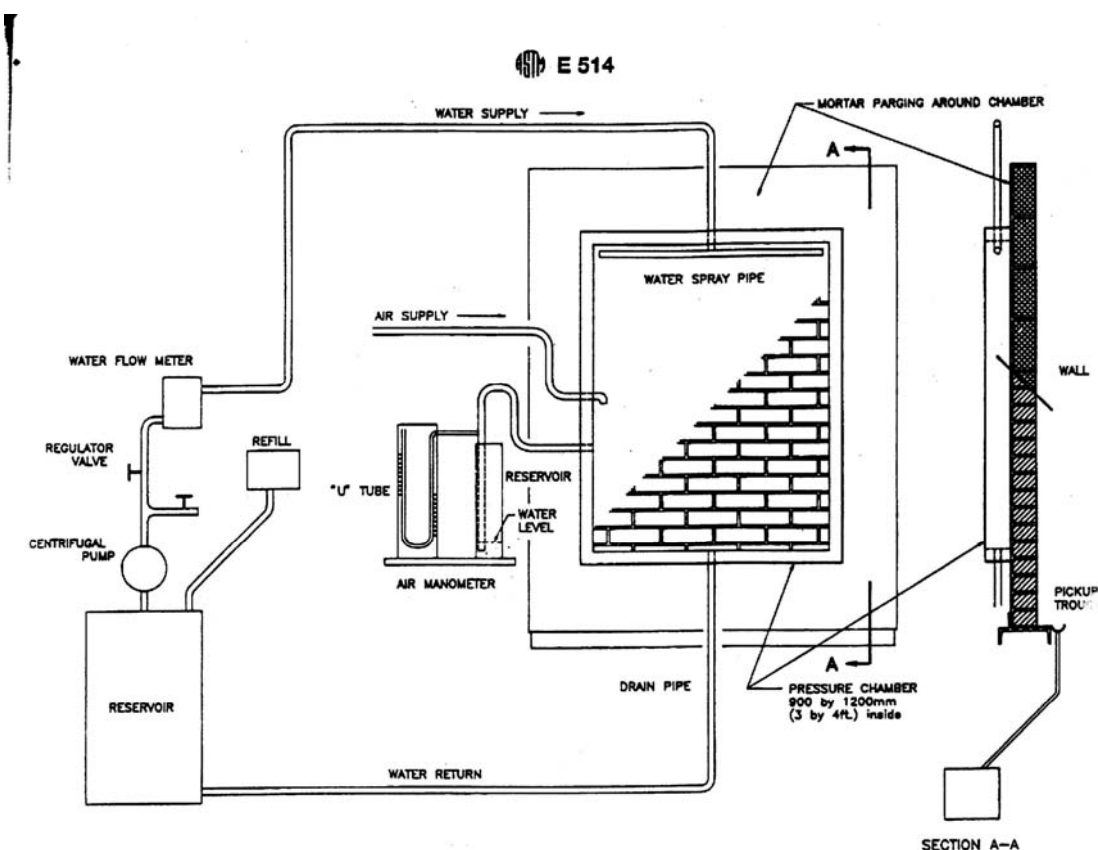


Figura 2.7 - Esquema de funcionamento da câmara de ensaio de estanqueidade à água preconizada em 1974 pela American Society for Testing and Materials – ASTM.

2.3.1.1.5 Método de ensaio preconizado pela British Standard Institution – BSI.

O ensaio é realizado em laboratório onde um corpo de prova é confeccionado dentro de um quadro composto de uma armação de aço, que será transportado e acoplado a uma câmara de teste. (Figura 2.8).

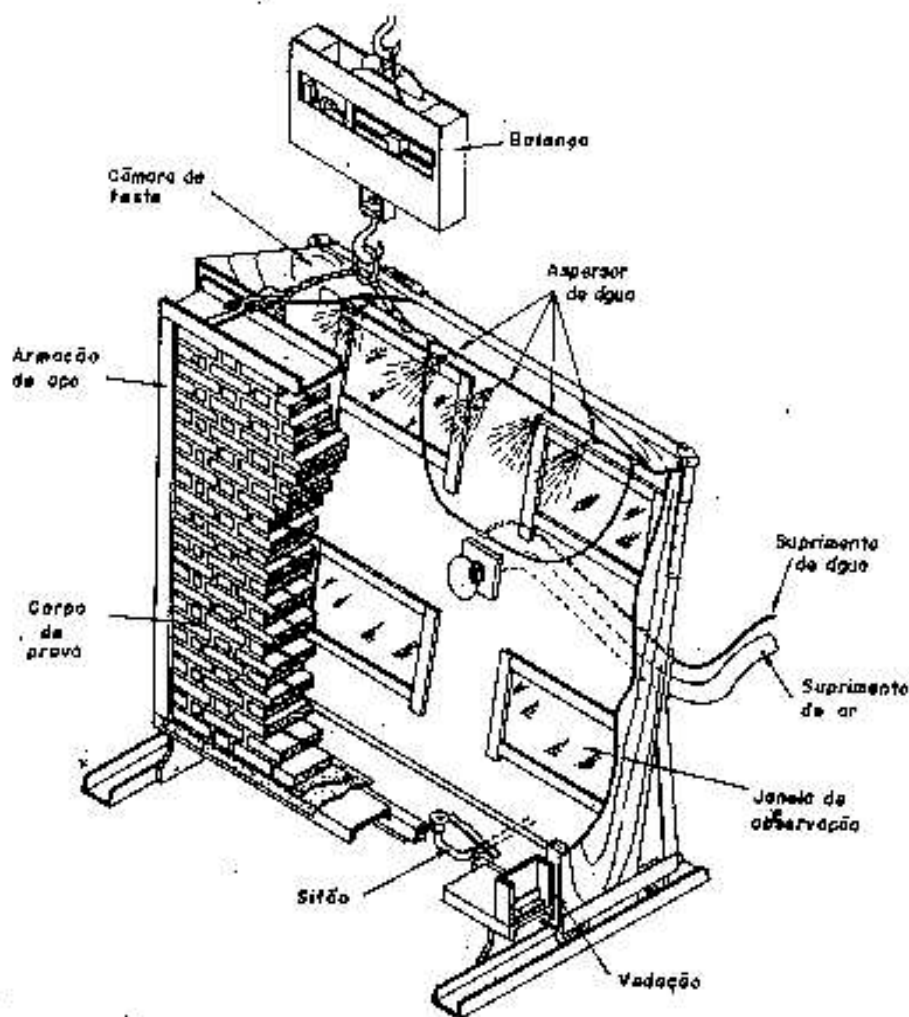


Figura 2.8 – Câmara de ensaio de estanqueidade á água preconizada pela British Standard Institution – BSI.

A parte atrás do corpo de prova que não ficara exposta á incidência de jatos de água e pressões de ar poderá ser pintada com cal antes da realização do ensaio para detectar com mais facilidades as manchas de umidade. O tempo de realização do ensaio é de 48 horas, são aplicados jatos d' água durante um minuto a uma vazão de 25 ml/minuto para cada 10 mm de comprimento da área de teste.

A área de teste deverá ser configurada por uma região delimitada pelas dimensões mínimas de 1,0 m x 1,0 mm no corpo de provas. A pressão pneumática constante, aplicada na face de exposição do corpo de prova é de 500 Pa.

A câmara de teste possui sistemas de suprimento de ar e de água, um quadro formado por perfis de aço em seção U (150mm x 75 mm ou 225 mm x 75 mm) dotado de dispositivo para içamento para pesagem, de equipamento de filmagem Time Lapse, equipamento de pesagem e coletor e medidor de vazão de água.

2.3.1.1.6 Método de ensaio preconizado pelo Building Research Institute – BRI.

O método testa a estanqueidade à água de corpos-de-prova (paredes revestidas ou não) através da simulação das condições ambientais de chuva e vento, em uma câmara de teste devendo ser ensaiado mais de um corpo de prova.

A aparelhagem é composto de uma câmara de teste com dimensões de 2,0 m x 2,0 x 0,66 m provida de janelas de observação, sistemas de suprimento de água e ar, armação de aço onde será confeccionado o corpo de prova para teste, compressor de ar com capacidade de aplicação de uma pressão estática acima de 2500 Pa, sistema de aspersão d'água com capacidade de aplicação de 6l/min.m².

2.3.2 REQUISITOS E CRITÉRIOS DA DURABILIDADE

A durabilidade ou manutenção das propriedades ao longo do tempo é um dos itens mais importantes de uma avaliação de desempenho e merece atenção especial. A metodologia de estudo da durabilidade de materiais e componentes já se encontra desenvolvida. Os materiais são expostos às intempéries em estações de envelhecimento natural, sendo registradas as condições de exposição.

Paralelamente, o material ou componente pode ser exposto a ensaios de envelhecimento artificial acelerado, onde fatores de degradação são reproduzidos ou simulados, de forma intensa. Através destes ensaios, pode-se aprofundar o conhecimento a respeito dos mecanismos de degradação dos materiais (PICCHI, 1988).

Segundo RAGO et al. (1994) a durabilidade é caracterizada pela variação, ao longo do tempo da resistência de aderência, da resistência de abrasão, absorção de água ou qualquer outra propriedade julgada de interesse. A simulação do envelhecimento pode ser obtida através de ensaio de choque térmico, onde a parede é submetida a ciclos de molhagem e secagem obtida pelo aquecimento da superfície pela radiação. Este ensaio procura simular ciclos de sol e chuva que introduzem variações dimensionais diferenciais que produzem esforços de cisalhamento na interface revestimento-alvenaria.

Baseado em ciclos térmicos, ROY et al. (1999) afirmaram que os materiais usados na construção civil são expostos ao sol e à chuva, e a mudanças de temperaturas durante o dia e a noite. Como resultado das quedas bruscas de temperatura em países de clima frio, os materiais sofrem mais contrações na superfície que no interior, ocorrendo dilatação na superfície e no interior. Assim, com o aumento brusco das temperaturas a superfície se dilata mais que o interior, provocando tensões de contração na superfície e tensões de tração no interior do material. Igualmente, durante a secagem, a superfície se contrai mais o interior, provocando tensões de tração aparecem na superfície e no interior as tensões de compressão.

Baseadas nestas variações cíclicas que se produzem no material, ROY et al. (1999), realizaram 30 ciclos de imersão em água por 10 minutos seguidos por secagem em estufa a 70° C por 30 minutos e outros 30 ciclos de molhagem por 6 horas e aquecimento por 18 horas.

PURNELL et al. (1999) observaram regimes de envelhecimento acelerado em cimento reforçado com fibras de vidro, onde amostras envelhecidas por vários períodos entre 7 meses e 1 ano imerso em água a 20, 38, 65° C. O modelo de previsão que tinha sido sugerido através de regimes de envelhecimento acelerado pode ser correlacionado com largos períodos de exposição natural, sendo considerado 1 dia a 60 °C equivalente a 9 meses. Para a análise das amostras realizaram matrizes químicas e testes mecânicos. Onde nas matrizes químicas foram feitas análises de difração de raios-X e diferencial térmico e termogravimétrico para a identificação e análises quantitativas das fases sólidas e em particular hidróxido de cálcio. No caso dos testes mecânicos foi usado um software para analisar os resultados das tensões e deformações.

ROMAN et al. (2000) avaliaram, em uma câmara de envelhecimento, painéis revestidos com peças cerâmicas. Transcorrido um período mínimo de 28 dias do assentamento, empregaram-se ciclos controlados de temperatura e umidade, realizaram 120 ciclos de 3 horas de duração. A temperatura máxima atingida foi de 68° C, considerando-se um dia quente de verão. A temperatura mínima foi aquela no final das 3 horas, em média 18° C. A câmara climática utilizada foi programada para os valores máximos e mínimos para a umidade de 60% e 98%. Os valores limites foram estabelecidos de forma a simular condições de clima úmido, para temperaturas máximas e secas, para as temperaturas mínimas, estabelecendo assim as piores condições de expansão e retração respectivamente. Foram realizados ensaios de arrancamento nos painéis envelhecidos por ciclos térmicos e de referência. Os valores obtidos foram comparados entre si. A resistência de aderência ao arrancamento do sistema testado não apresentou degradação significativa após de 120 ciclos de temperatura e umidade.

TOLÊDO et al. (2000) fizeram ensaios de durabilidade em solução alcalina de argamassas com cimento com fibras de coco-sisal. Foi medida a perda de resistência que ocorre durante o tempo submetido a três tipos de tratamento: fibras armazenadas em nível de água de pH 8,3; fibras armazenadas em solução de hidróxido de cálcio de pH 12; fibras armazenadas em solução de hidróxido de sódio de pH 11. As fibras de coco-sisal foram armazenadas em quantidades pequenas com golpes de água ou solução químicas até 420 dias. Os recipientes foram cobertos e o pH da solução supervisionados em intervalos regulares, soluções as quais não tiveram retido o valor PH inicial usando uma máquina de prova de tensão (Branco-Marcallo) (Varese). As cargas aplicadas de valor constante cerca de 20 mm/minuto. As provas foram realizadas durante 0, 30, 60, 90, 180, 210, 360 e 420 dias em imersão na solução e na água. As 60 fibras testadas a cada período. Leituras de ganho e perda de peso foram feitos durante este período.

SHARER et al. (1997) pesquisaram a durabilidade do concreto modificado com látex (LMC). As amostras usadas para Microscopia eletrônica de varredura foram de 90 dias de envelhecimento. O concreto convencional e LMC foram molhados e secos a 105° C por 24 horas e esfriados a temperatura local em um recipiente.

CERNY et al. (2001) constataram os efeitos de ciclos térmicos em concretos de alto desempenho. O trabalho experimental foi feito para 2 tipos de concretos de alto desempenho designado para estruturas relacionadas por segurança nuclear. As amostras com forma prismática 100x100x50 mm, antes da medição foram expostos a várias condições externas. O primeiro grupo de amostra foi deixado em condições de laboratório. O segundo grupo foi exposto a ciclos térmicos. Este grupo de amostras dividido em 4 subgrupos. Cada subgrupo foi exposto a determinada temperatura no forno. As temperaturas escolhidas foram 200°C, 400°C, 600°C e 800°C. O período de aquecimento foi predeterminado durante 60 minutos.

As amostras restantes foram esfriadas por 6–8 horas para retomar as condições de temperatura de local ambiente. O ciclo de esfriamento consiste em 4 hora a -20°C e em seguida descongelamento a $+20^{\circ}\text{C}$. O terceiro grupo de amostras foi mantido em ciclos térmicos depois de um período de cura de 28 dias.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Realizada a revisão bibliográfica, na seqüência será fundamentada a investigação experimental que tem como meta submeter protótipos de paredes confeccionados com blocos e argamassas de assentamento e revestimento com cinzas de carvão mineral incorporadas. O programa experimental constitui-se das seguintes etapas:

- 1) Caracterização dos materiais empregados na pesquisa;
- 2) Confeção de argamassa escolhida para a pesquisa;
- 3) Confeção de painéis com blocos escolhidos para a pesquisa;
- 4) Realização do revestimento dos painéis,
- 5) Montagem da bancada experimental do ensaio de estanqueidade à chuva;
- 6) Realização de ensaios de avaliação a serem analisados.

As atividades para o desenvolvimento do programa experimental foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção e no Grupo VALORES (Valorização de Resíduos) do Núcleo de Pesquisa em Construção Civil da UFSC. Os ensaios de caracterização dos materiais e identificação dos componentes foram realizados seguindo as normas e procedimentos empregados por LENZI (2001) para que as características das argamassas sejam o mais próximo possível dos resultados obtidos neste trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1 CIMENTO

Utilizou-se Cimento Portland, CP II F 32, marca Itambé. As características foram fornecidas pelo fabricante e são apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1-Laudo Técnico-Cimento Portland CP II F – 32 (Cimento Itambé, julho/2001).

ENSAIOS FÍSICOS	Unidade	MÉDIA	DESVIO	MÍNIMO	MÁXIMO
Peneira 200	%	2,69	0,28	2,20	2,90
Peneira 325	%	11,98	0,81	11,10	13,50
Blaine	m ² /kg	3.213	19,09	3.190	3.240
Água de consistência normal	%	27,0	0,4	26,2	27,5
Início de pega	min	186	10,2	170	200
Fim de pega	min	248	8,9	235	255
Expansão à quente	mm	0,71	0,39	0,50	1,50
Resistência 1 dia	MPa	14,8	0,8	13,3	15,6
Resistência 3 dias	MPa	25,3	1,3	23,9	27,9
Resistência 7 dias	MPa	30,5	0,9	29,7	32,0
Massa específica	g/cm ³	3,09			
ENSAIOS QUÍMICOS	Unidade	MÉDIA	DESVIO	MÍNIMO	MÁXIMO
Perda ao Fogo	%	5,01	0,33	4,33	5,49
SiO ₂	%	18,28	0,19	18,03	18,57
Al ₂ O ₃	%	4,20	0,08	4,09	4,28
Fe ₂ O ₃	%	2,38	0,05	2,33	2,45
CaO	%	60,46	0,24	60,06	60,70
MgO	%	4,94	0,08	4,83	5,06
CaO L.	%	1,52	0,25	1,15	1,88
SiO ₃	%	2,87	0,07	2,73	2,94
Resíduo insolúvel	%	1,24	0,22	0,88	1,45
Equação Alcalina	%	0,58	0,02	0,55	0,61

Para determinação de massa unitária do cimento, seguiu-se o procedimento da NBR 7251(1982), Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Os resultados encontram-se na tabela 3. 2.

Tabela 3. 2-Massa unitária do cimento.

Material	Massa das Amostras (Kg)			Média (kg)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
	1	2	3			
CIMENTO	16,91	16,93	16,92	16,92	14,58	1,16

3.1.2 CAL

Empregou-se a cal hidratada tipo CH-III, classificada conforme o projeto de norma NBR 7175 (1992) e adotada pelo Programa Brasileiro de Qualidade de Cal, adquirida no mercado de consumo. A caracterização foi executada pelo fabricante, conforme laudo apresentado na tabela 3.3.

Tabela 3.3-Laudo de análise - Cal Hidratada CH-III.

ENSAIOS QUÍMICOS	Unidade	VALOR
Perda ao Fogo (PF)	%	22,22
Resíduo insolúvel (RI)	%	5,39
Óxido de Cálcio (CaO)	%	42,98
Óxido de Magnésio (MgO)	%	27,74
Óxidos totais (CaO+ MgO)	%	90,92
Anidrico sulfúrico (SO ₂)	%	nd
Anidrico Carbônico (CO ₂)	%	2,86
Óxidos totais Não Hidratados	%	12,95
Óxidos de CaO Não Hidratados	%	nd
ENSAIOS FÍSICOS	Unidade	VALOR
Granulometria # 30 (0,60 mm)	%	0,00
Granulometria # 200 (0,075 mm)	%	10,00

Para determinação da massa unitária da cal, seguiu-se o procedimento da NBR 7251(1982), Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Neste caso foi utilizado um recipiente com volume de 3,345 litros. Os resultados encontram-se na tabela 3.4.

Tabela 3.4-Massa unitária da cal.

Material	Massa das Amostras (Kg)			Média (kg)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
	1	2	3			
CAL	2,30	2,25	2,23	2,26	3,35	0,67

3.1.3 AREIA

Foi utilizada a areia proveniente de Rio Tijucas, Município Tijucas, Santa Catarina, seca por 24 horas, no mínimo, à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ e resfriada à temperatura ambiente, quando, então, se executou o ensaio de granulometria obedecendo ao procedimento da NBR 7211 (1983) e de material pulverulento NBR 7216 (1983), cujos resultados são apresentados na tabela 3.5 e figura 3.1.

Tabela 3.5-Análise granulométrica da areia Rio Tijucas, Município Tijucas, Santa Catarina.

# Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			Média da	%
	Massa retida (g)	% retida	%retida acumulada	Massa retida (g)	% retida	%retida acumulada	%retida acumulada	passante acumulada
4,8	7,3	0,7	1	5	0,5	1	1	99
2,4	45,3	4,6	5	43,8	4,4	5	5	95
1,2	188,9	19,0	24	175,8	17,7	23	23	77
0,6	290,6	29,2	53	289,9	29,1	52	53	47
0,3	246,5	24,8	78	253,3	25,4	77	78	22
0,15	175,8	17,7	96	182,6	18,3	95	96	4
0	40,8	4,1	100	45,6	4,6	100	100	0
Soma	995,2	100,0		996	100,0			
Diâmetro Máximo Característico								2,4
Diâmetro Mínimo Característico								0,15
Modulo de Finura								2,55
Material Pulverulento								1,86%

O Gráfico da figura 3.1 representa a curva granulométrica, onde a areia se enquadra na Zona 3, ou seja areia média, definida pela NBR 7211(1983).

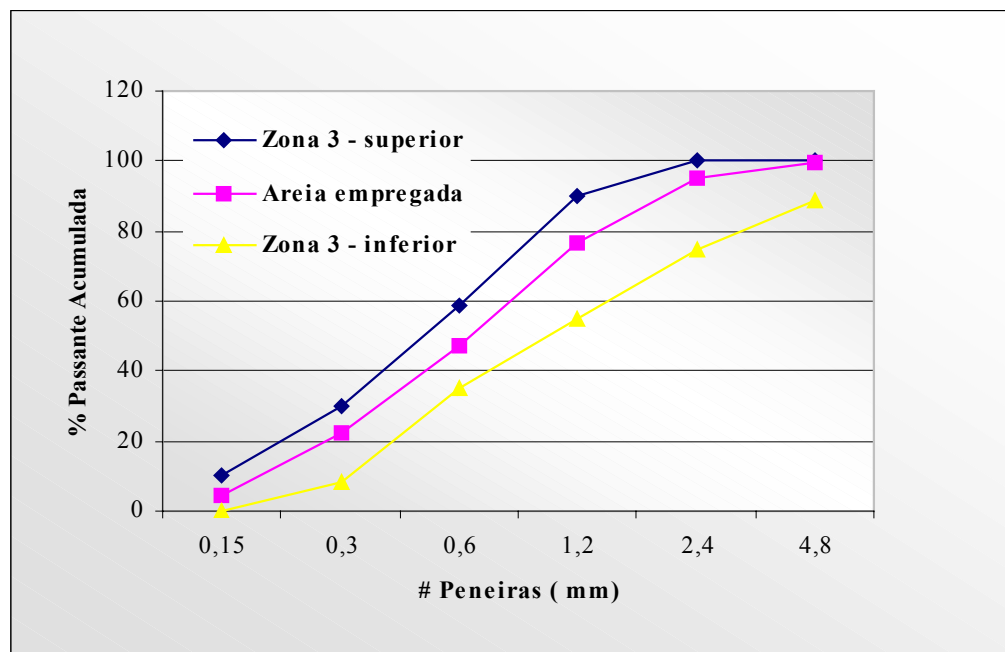


Figura 3.1-Curva Granulométrica da areia Rio Tijucas, Município Tijucas, Santa Catarina, em comparação com os limites da areia média, zona 3 da NBR 7211 (1983).

Após a caracterização inicial da areia, iniciou-se a separação da granulometria através de peneiramento da areia seca. Iniciou-se o trabalho de composição de frações de granulometria (retidas nas peneiras com abertura de malha # 0.15; 0.30; 0.60 e 1.20mm) visando alcançar composição com a maior massa unitária. Para o caso, foi usada a primeira composição analisada na pesquisa desenvolvida por LENZI (2001), a qual apresentou uma composição 1:1:1:1 em frações em massa para cada uma das aberturas de malha anteriormente citadas.

3.1.4 CINZA LEVE (CZL)

A cinza leve empregada na pesquisa é originária da queima de carvão pulverizado do Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda, município de Capivari de Baixo, estado de Santa Catarina. Foi coletada no silo da unidade B, e utilizada sem qualquer tratamento ou beneficiamento adicional.

A caracterização de CZL é apresentada na tabela 3.6, onde são mostrados os resultados dos ensaios químicos realizados no Laboratório URGC- Matériaux do INSA- Lyon, França.

Tabela 3.6-Análise química da cinza leve.

SO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	MgO(%)	CaO(%)	Na ₂ O(%)	K ₂ O(%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	PH(%)	Corg(%)	CO ₂ t(%)	S(%)	Cl(ppm)
57,32	28,96	4,52	nd	0,69	1,30	0,22	2,82	1,39	0,10	2,41	2,08	7,66	0,10	20

Para determinação de massa unitária da cinza leve, seguiu-se o procedimento da NBR 7251(1982), Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Os resultados estão demonstrados na tabela 3.7.

Tabela 3.7-Massa unitária do cinza leve.

Material	Massa das Amostras (Kg)			Média (kg)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
	1	2	3			
CINZA LEVE	13,10	13,25	13,13	13,16	14,58	0,90

No ensaio para determinar a massa específica aparente da cinza leve foi utilizado o método do picnômetro, sendo que a massa específica aparente foi obtida através da média de seis amostras ensaiadas em picnômetro de 500ml. Os resultados são mostrados na tabela 3.8.

Tabela 3.8-Massa específica aparente da cinza leve utilizada na argamassa.

Cinza Leve	Massa Especifica Aparente (g/cm³)						Média	Desvio Padrão
	Amostras							
	1	2	3	4	5	6		
Volume (cm³)	25,83	26,58	26,03	26,59	26,21	25,98	26,20	
ME (g/cm³)	1,94	1,88	1,92	1,88	1,91	1,93	1,91	0,02

3.1.5 CINZA PESADA (CZP)

A cinza pesada utilizada também é originária do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e foi coletada na esteira, junto à saída do fecho hídrico da caldeira, antes do equipamento de trituração, na unidade C.

Antes da caracterização, a CZP foi seca por 72 horas, no mínimo, à temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ quando resfriava-se naturalmente à temperatura ambiente. Sem qualquer forma de trituração, coletaram-se amostras e procedeu-se o ensaio de granulometria obedecendo ao procedimento da NBR 7211 (1983), cujos resultados são apresentados na tabela 3.9 e na figura 3.2.

Tabela 3.9-Análise granulométrica da cinza pesada sem torrões.

# Peneiras (m m)	A m o s t r a 1			% passante acumulada
	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	
1,2	15,52	1,4	1	99
0,6	18,59	1,7	3	97
0,3	70,72	6,4	9	91
0,15	580,40	52,2	62	38
0,075	356,20	32,1	94	6
0	69,50	6,3	100	0
Soma	1110,93	100,0		
Diâmetro Máximo Característico				0,60 m m
Diâmetro Mínimo Característico				< 0,075 m m

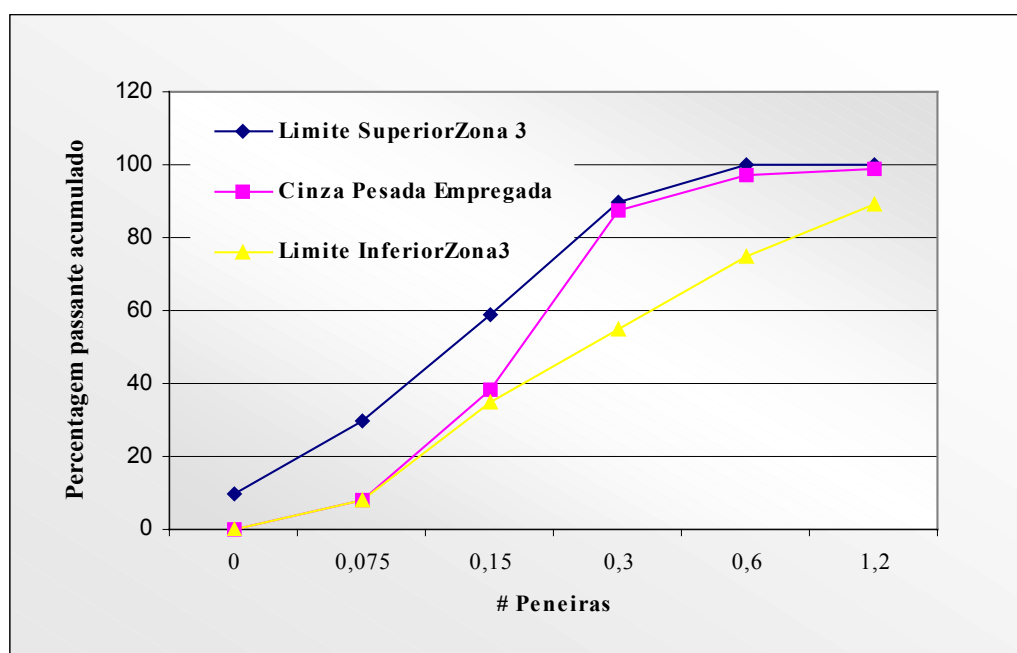


Figura 3.2-Curva granulométrica da cinza pesada sem torrões, em comparação com os limites da areia média, zona 3 da NBR 7211 (1983).

Para determinação da massa unitária da cinza pesada, seguiu-se o procedimento da NBR 7251(1982), Agregado em estado solto-Determinação da massa unitária. Os resultados são demonstrados na tabela 3.10.

Tabela 3.10-Massa unitária do cinza pesada.

Material	Massa das Amostras (Kg)			Média (kg)	Volume (cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)
	1	2	3			
CINZA PESADA	8,90	9,20	9,00	9,03	14,58	0,62

No ensaio para determinar a massa específica aparente da cinza pesada foi utilizado o método de picnômetro, sendo que a massa específica aparente foi obtida através da média de seis amostras ensaiadas em picnômetro de 500ml. Os resultados estão apresentados na tabela 3.11.

Tabela 3.11-Massa específica aparente da cinza pesada utilizada na argamassa.

Cinza Pesada	Massa Específica Aparente (g/cm³)						Média	Desvio Padrão
	Amostras							
	1	2	3	4	5	6		
Volume (cm³)	25,12	25,82	25,39	25,86	25,02	25,61	25,47	
ME (g/cm³)	1,99	1,95	1,97	1,95	1,99	1,97	1,97	0,02

3.1.6 ÁGUA

Utilizou-se água da rede pública, fornecida pela CASAN (SC).

3.2 PRODUÇÃO DE ARGAMASSA

Para a produção da argamassa, foi escolhida a melhor das combinações obtidas na pesquisa de LENZI (2001). Desta maneira, trabalhou-se com duas misturas: mistura n° 1 sem nenhuma adição (mistura convencional) e mistura n° 8 com uma composição em volume: 30% de substituição de cimento por CZL e 50 % de substituição de areia por CZP.

Utilizou-se o traço **1: 2: 9 (cimento: cal hidratada: agregados)** em volume.

A água necessária para a produção de argamassa foi determinada para atingir um índice de consistência de 255 ± 10 mm, realizada na mesa de consistência pelo *flow table*.

Na tabela 3.12, apresenta-se um resumo das características físicas dos materiais componentes das argamassas.

Tabela 3.12- Características físicas dos materiais componentes das argamassas.

Materiais	Massa Unitária MU (g/ cm ³)	Massa Específica ME (g/cm ³)	Fator de Empacotamento (MU/ME)	Módulo de Finura (MF)	Dimensão Máxima Caracter. (mm)	Dimensão Mínima Caracter. (mm)
Cimento Portland	1,16	3,09	0,38			
Cal Hidratada	0,67	2,44	0,27			
Cinza leve	0,9	1,91	0,47			
Areia Composição1	1,45	2,60	0,56	2,55	2,4	0,15
Cinza Pesada	0,62	1,97	0,31		>0,60	<0,075

A tabela 3.13 mostra o traço de argamassa, em volume com os respectivos traços em massa, considerando a massa unitária como fator de conversão, assim como a massa específica de cada argamassa. Na foto 3.1 apresentam-se, as argamassas depois de misturadas.

Tabela 3.13-Argamassa - Traços em massa e em volume.

Nº	Traços em volume					Traços em massa					Massa Específica (g/cm ³)
	cim	czl	cal	areia	cpz	cim	czl	cal	areia	cpz	
1	1	0	2	9	0	1	0	1,34	13,05	0	2,01
8	0,7	0,3	2	4,5	4,5	1	0,35	1,91	9,33	3,99	1,61



(a)



(b)

Foto 3.1-Argamassas de assentamento e de revestimento para pesquisa.
a) Argamassa referência (M-1a) b) Argamassa com adição CZP (M-8a)

Com os traços escolhidos para a elaboração das argamassas, foi analisada a consistência como característica no estado fresco e a resistência à compressão como ensaio no estado endurecido. Com o objetivo de analisar a consistência, determinou-se o teor de água para atingir o mesmo índice de consistência através do ensaio na mesa de consistência (*flow table*), fixado em 255 ± 10 mm, conforme NBR 13276 (1995). Com o traço dos materiais secos definidos (tabela 3.14) e o teor de água definido em função da consistência padrão, procedeu-se a mistura dos componentes seguindo os procedimentos da NBR 7215 (1982).

A tabela 3.14 e figura 3.3 mostram os resultados da demanda de água requerida por cada uma das argamassas confeccionadas para alcançar a consistência de 255 ± 10 mm. A consistência característica é indicada na coluna denominada *flow*.

Tabela 3.14-Teor de água e consistência das argamassas analisadas.

Misturas	Teor (%)		Fator								Flow
Nº	CZP	CZL	a/c		a/agl (sem czl)		a/agl (com czl)		a/mat.secos		(mm)
			massa	volume	massa	volume	massa	volume	massa	volume	
M 1	0	0	3,12	3,46	1,36	1,15	1,36	1,15	0,22	0,29	259
M 1a			2,84	3,30	1,21	0,99	1,21	0,99	0,18	0,24	252
M 8	50	30	4,76	5,28	1,49	1,23	0,74	0,49	0,32	0,31	260
M 8a			4,04	3,48	1,39	1,01	1,24	0,92	0,31	0,35	254

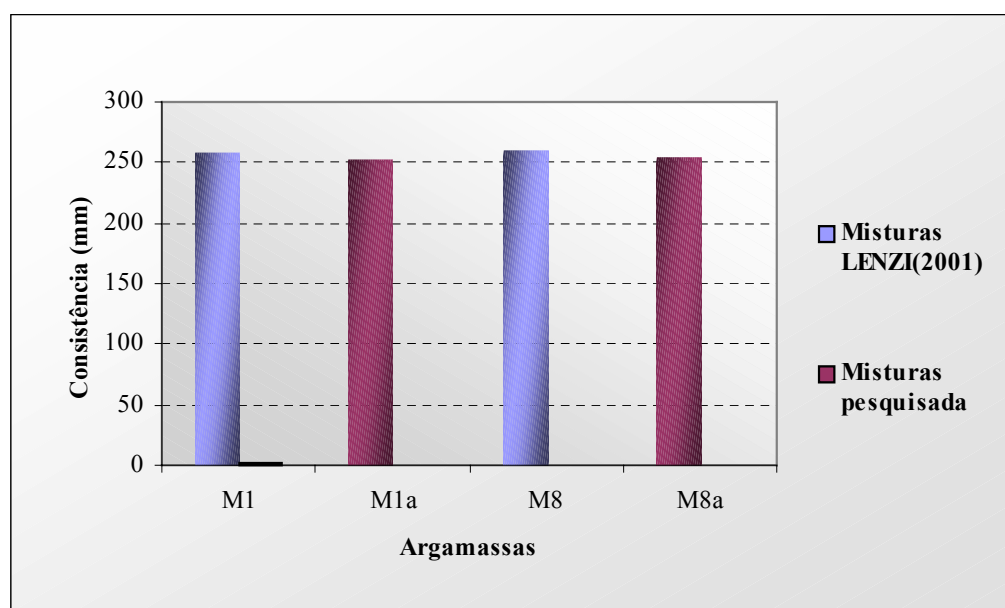


Figura 3.3-Índice de consistência das argamassas.

Na tabela 3.14 apresentam-se os valores obtidos tanto para argamassa pesquisadas por LENZI (2001), identificadas por M1 e M8, assim como as argamassas empregadas para confecção dos protótipos para serem avaliados quanto a seu desempenho, identificadas por M1a e M8a. Analisando os resultados, os índices de consistência, avaliados pelo *flow table*, tanto da mistura convencional, quanto da mistura com cinzas incorporadas, ficaram entre os valores da consistência padrão necessário para serem utilizados na construção.

Para a determinação da resistência à compressão colocou-se, no misturador, a quantidade de material suficiente para a moldagem de oito corpos-de-prova cilíndricos (5x10 cm). A moldagem foi realizada em moldes metálicos de 50mm de diâmetro e altura de 100mm, conforme procedimento de moldagem estabelecida na NBR 7215 (1982). Para evitar a evaporação da água da argamassa recém moldada, colocou-se na face superior do molde uma plaqueta de vidro.

A cura foi realizada mantendo inicialmente os corpos-de-prova nas formas em ambiente de laboratório por 24 horas, quando foram desmoldados e submergidos em água onde permaneceram até a data de seu rompimento, ou seja, 7 e 28 dias de idade. Na idade de rompimento, os corpos-de-prova foram pesados, medidos os diâmetros ortogonais no terço médio da altura e a altura, com auxílio de um paquímetro. Em seguida, foram capeados com mistura de enxofre e cimento, proporção 4:1 em volume, na face superior e inferior, conforme NBR 7215 (1982), para melhor distribuição dos esforços de rompimento.

Foram rompidos 3 corpos-de-prova de cada argamassa nas idades de 7 e 28 dias. Para o rompimento, fixou-se a velocidade de deslocamento da mesa da prensa em 0,025 mm/s. Os resultados dos rompimentos foram determinados de acordo com o item 5 da NBR 13279 (1995)- Argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e revestimento de paredes e tetos—Determinação da resistência à compressão, que prevê um desvio relativo máximo de 6 % dos valores individuais para a média das amostras rompidas.

Na figura 3.4, encontram-se os valores obtidos em relação à resistência à compressão das argamassas nas idades de 7 e 28 dias.

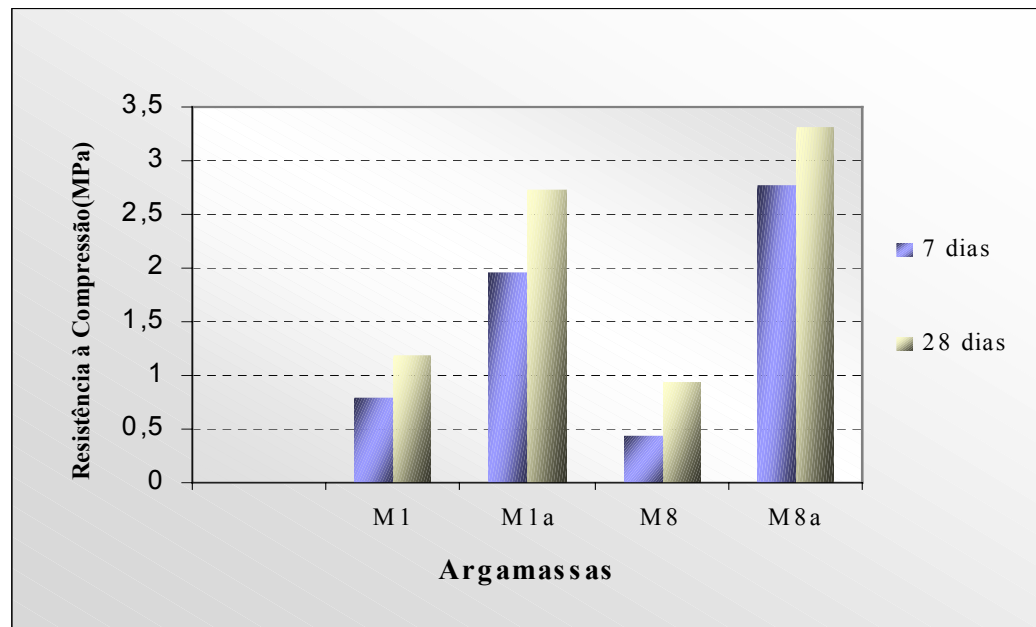


Figura 3.4-Resistência à compressão das argamassas, nas duas idades investigadas.

Em relação aos resultados mostrados, pode-se apontar que, para a idade de 7 e 28 dias, as argamassas M1a e M8a alcançaram valores superiores aos atingidos pelas pesquisadas por LENZI (2001) sendo possível seu uso para a elaboração dos protótipos.

É importante salientar que as argamassas que foram testadas para serem utilizadas nos ensaios de avaliação de desempenho precisaram de menor quantidade de água e alcançaram valores superiores na resistência à compressão em relação às argamassas de LENZI (2001), tomadas como referência para o desenvolvimento da pesquisa.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS

Os blocos empregados são resultado da pesquisa de SILVEIRA (2001), que faz parte do projeto: Aproveitamento de cinzas volantes e pesadas para a produção de concretos usinados e de blocos e pavimentos de concreto, financiado pela empresa GERASUL/ Programa Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Apesar da confecção dos blocos não fazerem parte do programa experimental desta pesquisa, é necessário que seja realizada uma explicação detalhada deste processo, pois são elementos componentes dos protótipos a serem avaliados nos ensaios de estanqueidade e durabilidade. A seguir, apresenta-se a caracterização dos blocos.

3.3.1 ESTUDO DAS CINZAS NA COMPOSIÇÃO IDEAL PARA UTILIZAÇÃO NOS BLOCOS

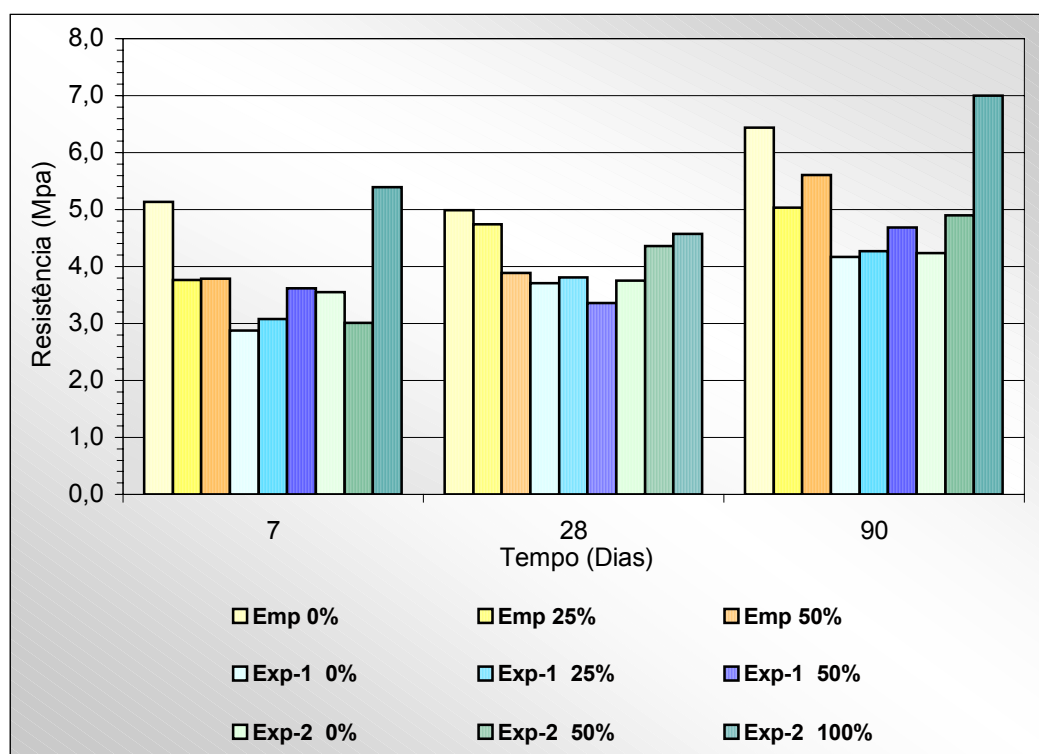
A partir dos resultados da composição ideal, foram determinados os três traços em massa estudados na pesquisa. Traço **Emp** é o traço de referência, já usado no processo de fabricação dos blocos de pavimentação e vedação. Traço **Exp-1** difere do traço **Emp** apenas nas proporções de areia e pedrisco, que são as proporções encontradas no método do menor volume de vazios. O traço **Exp-2**, conserva do **Emp** apenas a relação agregado/cimento (**massa**) que é de **10,07**, sendo adotadas as proporções de areia e pedrisco do traço Exp-1, analisado acima, e conteúdo pó de pedra igual a 10% da massa da areia da mistura.

Na tabela 3.15 estão expostos a média das resistências à compressão e o desvio padrão das amostras dos blocos de vedação aos 7, 28 e 90 dias de cura ao ar. Destaca-se que para cada traço foram rompidas 6 amostras, cujos valores encontram-se nas tabelas em anexo.

Tabela 3.15 - Resistência à compressão dos blocos de vedação.

Traço	DM	Rompimento aos 7 dias			Rompimento aos 28 dias			Rompimento aos 90 dias		
		Massa(Kg)	Carga(KN)	Rc(MPa)	Massa(Kg)	Carga(KN)	Rc(MPa)	Massa(Kg)	Carga(KN)	Rc(MPa)
Emp	M	11,02	282,4	5,14	10,89	273,56	4,99	11,21	352,83	6,43
0%	DP	0,34	37,69	0,68	0,27	24,54	0,44	0,28	47,46	0,88
Emp	M	10,6	207,37	3,77	10,6	260,37	4,74	10,67	275,63	5,03
25%	DP	0,25	21,87	0,39	0,25	25,04	0,45	0,37	58,35	1,06
Emp	M	10,18	208,3	3,79	9,94	213,57	3,89	10,74	307,43	5,61
50%	DP	0,31	27,49	0,49	0,42	29,16	0,53	0,36	57,52	1,05
Exp-1	M	10,42	157,4	2,87	10,42	157,4	2,87	10,29	228,5	4,17
0%	DP	0,25	41,36	0,74	0,25	41,36	0,74	0,2	52,5	0,96
Exp-1	M	10,43	168,9	3,08	10,43	168,9	3,08	10,32	233,8	4,27
25%	DP	0,49	51,5	0,94	0,49	51,5	0,94	0,46	59,12	1,08
Exp-1	M	10,85	198,47	3,62	10,85	198,47	3,62	10,28	256,8	4,69
50%	DP	0,27	35,5	0,64	0,27	35,5	0,64	0,27	41,88	0,76
Exp-2	M	10,5	195,36	3,55	10,5	195,36	3,55	10,03	231,28	4,23
0%	DP	0,39	34,18	0,64	0,39	34,18	0,64	0,25	35,54	0,66
Exp-2	M	10,15	164,6	3,01	10,15	164,6	3,01	10,15	268,03	4,9
50%	DP	0,18	22,71	0,41	0,18	22,71	0,41	0,38	41,37	0,75
Exp-2	M	11,53	296,27	5,4	11,53	296,27	5,4	11,23	383,77	7,00
100%	DP	0,13	20,02	0,36	0,13	20,02	0,36	0,23	11,71	0,23

M=Média D=Desvio Padrão

**Figura 3.5-Resistência à compressão dos blocos de vedação.**

Verifica-se pela figura 3.5, que os concretos Exp-2 100% e Emp 0% tiveram resistência à compressão maiores que os demais nas idades de 7 e 90 dias e similares aos 28 dias. Pode-se observar, pela mesma figura, que os concretos não seguem uma mesma tendência de crescimento ou diminuição da resistência em relação ao do aumento da incorporação de cinza pesada para todos os traços estudados. Para o concreto empregado pela empresa (Emp), a incorporação de cinza provocou uma ligeira diminuição na resistência à compressão. Já para o concreto experimental (Exp-2), a substituição do pó-de-pedra pela cinza pesada torna-se vantajosa principalmente para 100% de substituição.

Na tabela 3.16 está exposta a média das absorções por imersão em água e o desvio padrão das amostras dos blocos de vedação aos 7, 28 e 90 dias de cura ao ar. Destaca-se que para cada traço foram ensaiadas 3 amostras, cujos valores se encontram nas tabelas em anexo.

Tabela 3.16 - Absorção dos blocos de vedação.

Traço	D/M	Absorção aos 7 dias			Absorção aos 28 dias			Absorção aos 90 dias		
		MSec(Kg)	MSat(Kg)	Abs (%)	MSec(Kg)	MSat(Kg)	Abs (%)	MSec(Kg)	MSat(Kg)	Abs (%)
Emp	M	10,59	11,49	8,5	10,44	11,57	10,79	10,65	11,53	8,2
0%	DP	0,15	0,14	0,43	0,16	0,19	0,28	0,25	0,23	0,39
Emp	M	10,19	11,17	9,63	10,17	11,36	11,73	10,46	11,28	7,84
25%	DP	0,24	0,21	0,57	0,25	0,12	1,56	0,05	0,03	0,45
Emp	M	9,43	10,59	12,23	9,36	10,49	12,08	10,11	11,2	10,76
50%	DP	0,06	0,09	0,4	0,63	0,62	0,92	0,22	0,2	0,48
Exp-1	M	9,66	10,78	11,6	10,1	10,96	8,54	10,24	11,16	9,00
0%	DP	0,2	0,18	0,45	0,18	0,03	1,93	0,32	0,13	2,42
Exp-1	M	9,59	10,7	11,71	10,13	10,77	6,38	10,12	10,78	6,54
25%	DP	0,68	0,56	2,13	0,5	0,34	1,89	0,33	0,14	2,67
Exp-1	M	9,76	10,85	11,14	10	10,79	7,89	9,76	10,76	10,26
50%	DP	0,28	0,3	0,96	0,24	0,22	2,17	0,21	0,13	1,05
Exp-2	M	9,79	10,91	11,37	9,71	10,65	9,65	9,68	10,58	9,43
0%	DP	0,08	0,1	0,26	0,25	0,1	2,63	0,44	0,3	2,04
Exp-2	M	9,55	10,71	12,16	10,09	10,74	6,38	10,2	11,1	8,89
50%	DP	0,21	0,2	0,47	0,12	0,04	1,04	0,57	0,33	2,84
Exp-2	M	10,23	11,25	10	10,29	11,01	7,09	10,31	11,22	8,9
100%	DP	0,6	0,56	0,93	0,2	0,04	2,04	0,31	0,33	0,86

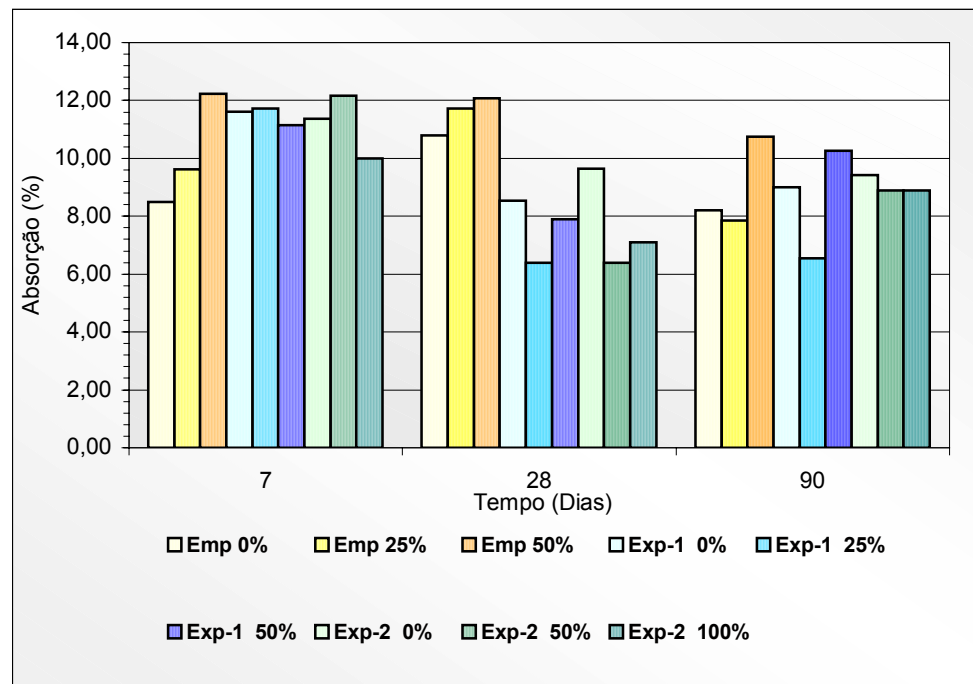


Figura 3.6 - Absorção dos blocos de vedação.

A norma NBR 7173/1982 determina que a absorção de água dos blocos de vedação a partir dos 28 dias não deve ser superior a 10%. Através da figura 3.6, observa-se que os melhores concretos a serem utilizados são os Exp-1 e Exp-2, pois, aos 28 dias, os concretos Emp apresentam absorção de água maior que os prescritos pela norma. Observa-se também que o uso da cinza pesada teve pouca influencia sobre esta propriedade.

De um modo geral, a absorção foi menor quando a idade passou dos 7 para os 28 dias, devido provavelmente ao aumento da hidratação do cimento com o passar do tempo e a deposição de materiais hidratado nos poros o que promove o fechamento dos poros.

Foi verificado visualmente que os corpos-de-prova elaborados em laboratório obtiveram texturas mais seladas que as apresentadas pelos blocos produzidos na empresa. No entanto, não houve variação de cor e textura nos diferentes traços estudados tanto nos corpos-de-prova quanto nos blocos analisados após a cura. A coesão das misturas foi melhorada quando da incorporação de cinza pesada. Esta análise foi feita visualmente durante a mistura dos materiais.



Foto 3.2-Estoque dos blocos com cinzas incorporadas.

Na foto 3.2 são mostrados os blocos estocados para serem utilizados na confecção dos painéis que foram avaliados em relação à estanqueidade e a sua durabilidade. Nesta pesquisa foram usadas as combinações Emp. 25%, Exp. 1 0%, Exp. 2 0% e Exp. 1 50%, porque esses apresentaram maior numero de blocos disponíveis. Estes foram os empregados para a construção dos protótipos devido ao fato de permitir a confecção de cada corpos-de-prova com o mesmo tipo de blocos que contribuiu para a obtenção dos resultados mais favoráveis durante o processo de avaliação do desempenho.

3.4 CONFECCÃO DOS CORPOS DE PROVA E EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

3.4.1 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

Para a execução do ensaio obedeceram-se os procedimentos descritos na norma "*Standards Test Method for Water Penetration and Leakage Through Masonry*", *American Society for Testing and Materials E 514. ASTM, Baltimore, 1990*. No Brasil, tem-se uma adaptação do método original segundo a metodologia do IPT (**Instituto de Pesquisas Tecnológicas**), "Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social". IPT, São Paulo, 1998.

1) DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Este ensaio visa comprovar a estanqueidade dos elementos do edifício à água devido a água de chuva incidente, empregando-se uma câmara de verificação de estanqueidade, onde é acoplado o painel a ser avaliado.

Este ensaio consiste em submeter, durante um tempo determinado, a face externa de um corpo-de-prova de parede a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua, com aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face. A simulação, neste caso, é feita criando uma película de água sobre a superfície do componente e aplicando uma pressão estática de ar. A película de água representa a chuva que escorre pelas superfícies e a pressão de ar representa a ação do vento mais a carga cinética das gotas de água. As variáveis mais importantes nesta simulação são o tempo de exposição e a pressão de vento.

As correlações que existem entre a simulação e a realidade partem de um modelo matemático de difusão de água em materiais porosos (que incluem dentro deste grupo as paredes de alvenaria tradicional com tijolos de barro cozido, blocos de concreto, de gesso etc.), combinado com observações em casos reais de dias de chuvas intensas prolongadas (RODRIGO, 1988).

Para a realização dos ensaios, o tempo de exposição depende das condições de exposição: pressão de vento e vazão de água. Para o estabelecimento destas condições, no Brasil são adotadas as condições fixadas pelo IPT (1998) considerando a isopletas³ de velocidade de vento indicadas na tabela 3.17 e figura 3.7. Logo, quando submetido a essas condições as paredes das fachadas do edifício devem permanecer estanques, sem apresentar infiltrações, escorrimentos ou formação de gotas aderentes na face interna.

A película de água que escorre pela superfície do componente deve passar pela tubulação que irriga o painel. Após o tempo de exposição à incidência da quantidade de água em dm³/minuto e pressão pneumática, avalia-se o tempo de aparecimento da umidade e da mancha de água e o percentual de área molhada.

Tabela 3.17 - Condições de ensaios de estanqueidade de paredes (IPT, 1998).

REGIÃO DO BRASIL	Condições de ensaios de paredes	
	Pressão estática (mmca)	Vazão de água (dm ³ /m ² /min)
I	10	30
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

³ Isopletas: As regiões do Brasil de acordo com a velocidade das rajadas de vento, podem ser utilizadas para identificar as regiões de maior intensidade das chuvas incidentes.

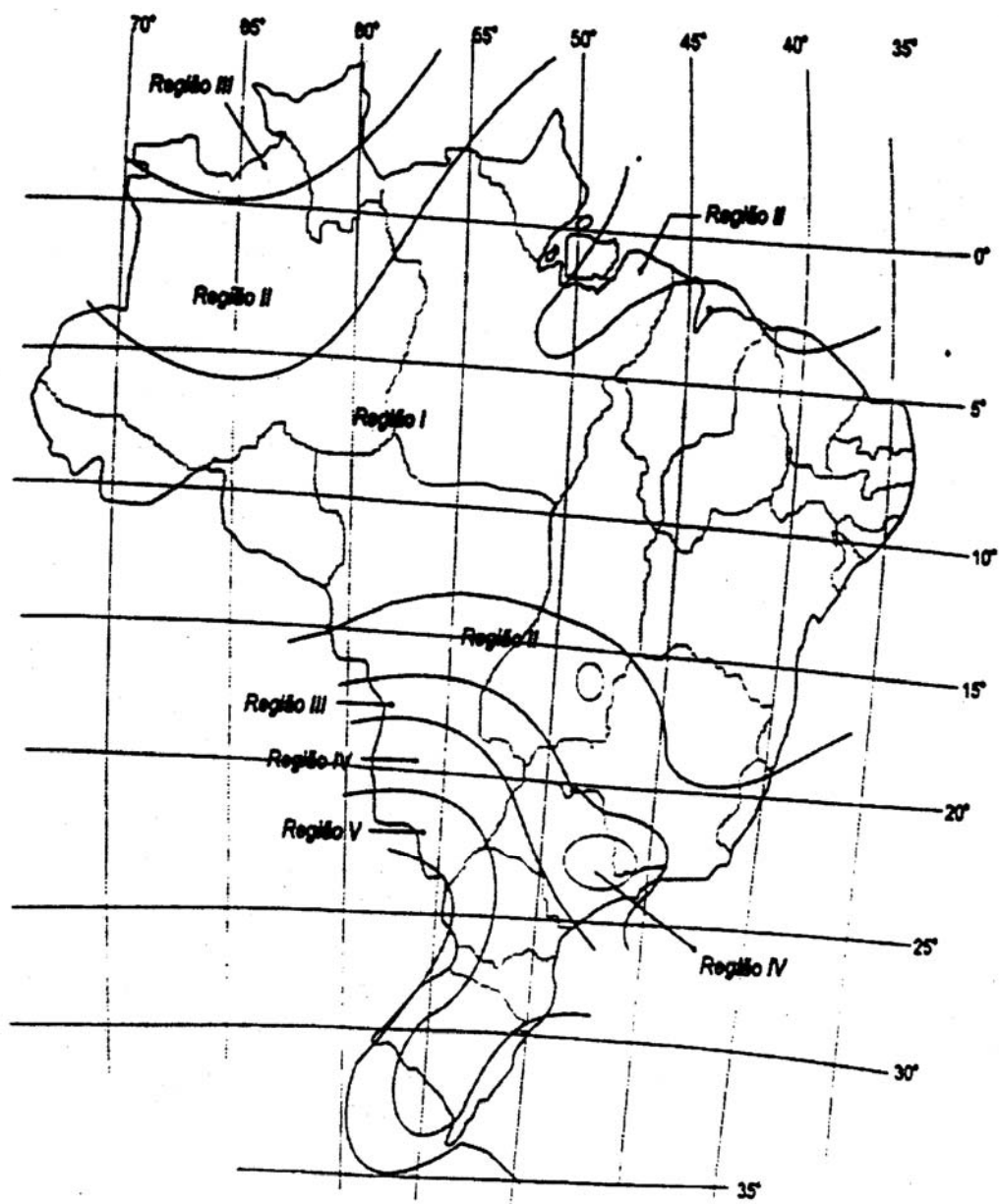


Figura 3.7-Regimes do Brasil para fins de verificação da estanqueidade à água de chuva – Isopletas da velocidade básica de vento da NB 599,1987. (IPT,1998).

2) APARELHAGEM

➤ Câmara de ensaio

Para realização do ensaio, é necessária uma câmara de formato prismático, que pode ser construída de metal, madeira ou plástico, a qual deve ser constituída de:

- a) Abertura em uma das faces para fixação de corpo de prova com uma área mínima disponível de 1.08 m² (exemplo 900 mm de largura e 1200 mm de altura).
- b) Orifício da saída de água na base, provido de sifão que possibilite a formação de um fecho hídrico no interior da câmara.
- c) Orifício para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão, do manômetro e para saída de ar.
- d) Sistema constituído por ventoinha, tubulação e registros reguladores de pressão possibilitar a aplicação de pressão pneumática uniforme de até 500 Pa (50mmca) no interior da câmara por uma de suas faces laterais, a fim de impedir a incidência direta do ar sobre o corpo de prova.
- e) Equipamento para medida de pressão deve ser instalado de maneira que a medida não seja afetada pela velocidade do ar e tenha resolução de 50 Pa (5mmca).
- f) Dispersão de água: Sistema, constituído por reservatório de água, tubulações, registros e tubo com dispersores de água, devem permitir a aplicação de vazão constante e igual a 3,0 dm³/minuto junto à parede superior da face externa, criando uma película homogênea e contínua.

- g) Devem ser utilizados equipamentos que permitam o controle da vazão durante o ensaio, tais como venturis, rotâmetros, etc, com resolução igual a 1 % do fundo de escala.

➤ **Grampos para fixação do corpo de prova.**

A figura 3.8 mostra o esquema de funcionamento da aparelhagem.

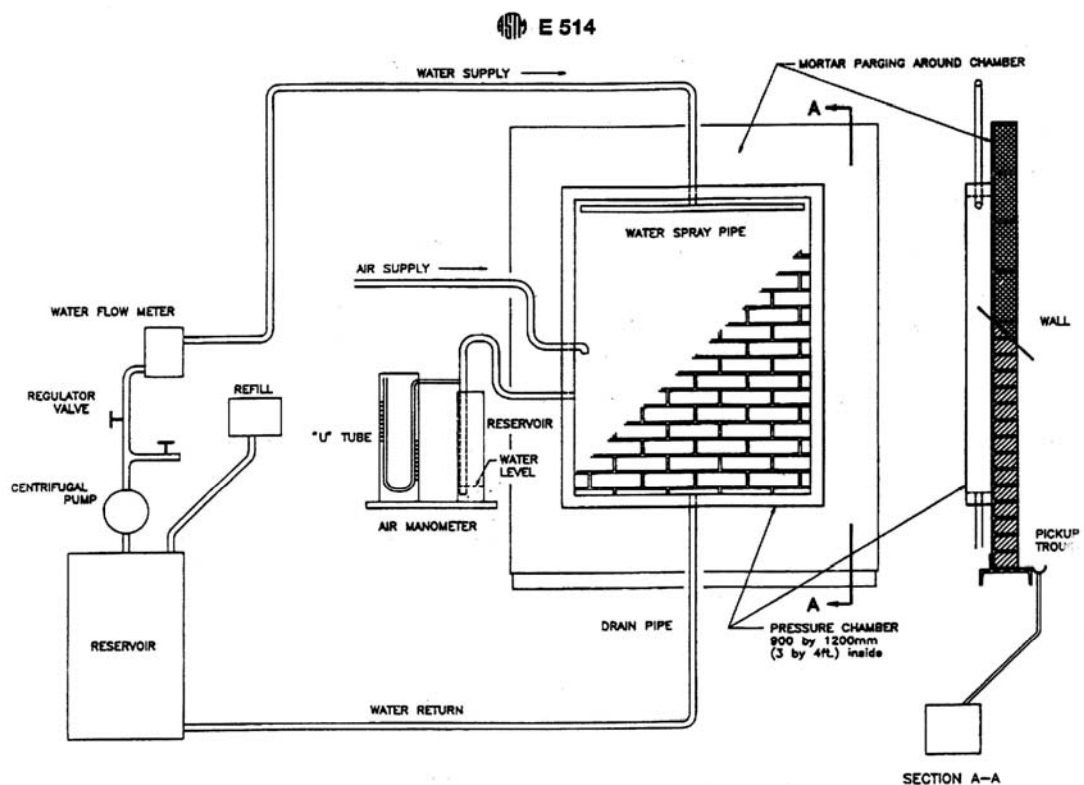


Figura 3.8-Esquema de funcionamento da câmara de estanqueidade.
(Fonte: ASTM, 1990)

3) **NÚMERO DE AMOSTRAS:** Devem ser testadas 3 amostras

4) CONDIÇÕES DA TEMPERATURA E UMIDADE: O ar no laboratório deve ser mantido a uma temperatura de $24 \pm 8^{\circ} \text{C}$ e uma umidade relativa não menor que 30% e não maior que 80%.

5) CONDIÇÕES E PARÂMETROS A SEREM LEVADOS EM CONTA DURANTE A OBSERVAÇÃO.

Durante o período de ensaio, observações devem ser feitas em intervalos de 30 minutos, registrando os seguintes parâmetros:

- Tempo de aparição da umidade na face oposta da amostra;
- tempo de aparição da 1ª mancha de umidade visível na face oposta da amostra;
- área de umidade na face oposta da parede e ao fim do período, expressar a percentagem em relação à área testada;
- água total coletada no final do período de exposição.

6) INFORMAÇÃO QUE DEVE SER APRESENTADA:

- Descrição de todos os materiais empregados na construção das paredes incluindo revestimento, elementos de alvenaria, materiais e composição das argamassas usada para a construção das amostras protótipos de paredes;
- descrição e detalhes de construção das amostras protótipos das paredes, incluindo fotografias, desenhos, esboços em caso de serem necessários;
- descrição detalhada da qualidade da construção das amostras de provas;
- condições do teste;
- temperatura e umidade durante a construção, envelhecimento e período de avaliação.

Sendo necessário para a realização da pesquisa a montagem da bancada experimental formada pela câmara antes mencionada, passou-se à confecção, seguindo, para isso, os procedimentos apresentados na ASTM E 514 (1991) e IPT(1998).

Basicamente os seguintes componentes são considerados na montagem experimental da câmara de estanqueidade.

- a) Componentes de montagem
- b) Amostragem
- c) Condições ambientais
- d) Parâmetros de controle
- e) Informações para proceder à avaliação final.

Destaca-se na montagem experimental realizada os seguintes procedimentos de controle.

- Controle da água inicial empregando-se o hidrômetro de capacidade nominal $2,5\text{m}^3/\text{h}$ e capacidade mínima $0,05\text{m}^3/\text{h}$.
- Controle de água coletada na saída da câmara de estanqueidade com hidrômetro de capacidade nominal $2,5\text{m}^3/\text{h}$ e capacidade mínima $0,05\text{m}^3/\text{h}$.
- Determinação da água total absorvida durante o ensaio dada pela diferença entre água inicial e água coletada.

A câmara de estanqueidade foi calibrada para que tivesse uma vazão de água de $3\text{l}/\text{m}^2/\text{min}$ e a vazão de ar de 400 Pa (40 mmca), tendo como referência que a cidade de Florianópolis se encontra situada na região 4, ou seja conforme a velocidade do vento e incidência de chuva (tabela 3.21 e figura 3.7). Os ensaios foram feitos tendo um controle da temperatura e umidade, sendo a temperatura média de 28°C e umidade média de 78% .

Na sequência são apresentadas as fotos que ilustram esta etapa de montagem da câmara.



Foto 3.3-Sequência de fabricação da câmara de estanqueidade.

7) CONFECCÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Para a realização do ensaio de avaliação da estanqueidade, foram confeccionados 6 protótipos de paredes, dos quais três paredes apresentaram uma trama estrutural formada pelos blocos sem e com cinza incorporada: Emp. 25 %, Exp-1 0%, Exp-2 0%, com argamassas de assentamento e revestimento sem nenhuma adição de cinza (argamassa M1a); três foram formadas pelos blocos Exp-1 0%, Exp-1 50%, Exp-2 0%, com argamassas de assentamento e revestimento com adição de cinza (argamassa M8a).

Os protótipos foram concebidos com uma dimensão de 1000 mm de largura por 1200 mm de altura e com revestimento de 20 mm de espessura. Para tanto, estes protótipos foram executados por um profissional da Construção Civil. Na seqüência estão apresentadas as fotos que ilustram a etapa de execução dos painéis da pesquisa.



Foto 3.4-Sequência de fabricação dos protótipos de paredes.

Após um período de sessenta dias de cura da argamassa de revestimento ao ar no laboratório, iniciou-se a execução do ensaio de estanqueidade, começando por acoplamento das mesmas à câmara de estanqueidade. Na foto 3.5 apresentam-se as seqüências das realizações do ensaio.



Foto 3.5-Protótipos de paredes submetidos a ensaio de estanqueidade.

Depois de terminado o ensaio de estanqueidade para que o método de avaliação dos protótipos possa ser completo e exaustivo foram incluídos outras determinações e análises para obter uma maior informação do material. Nas amostras foram realizados os seguintes ensaios: umidade do material, absorção de água por baixa pressão (método do cachimbo) e por capilaridade.

3.4.1.1 UMIDADE DO MATERIAL.

Depois de concluído o ensaio de estanqueidade foi determinado o teor de umidade final das argamassas testadas. Foi obtido através da umidade do material proveniente das diferentes alturas das paredes. O teor de umidade foi definido como a razão entre a massa de água contida na amostras e a massas desta amostra seca. As amostras foram extraídas de três localizações diferentes (da parte superior, da meia e inferior da parede revestida) por perfuração, utilizando uma broca tipo copo.



Foto 3.6-Amostras de argamassas para determinação do teor de umidade.

3.4.1.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO.

Foi desenvolvido o ensaio para avaliar a permeabilidade nas paredes através do método de cachimbo. Neste é usado um dispositivo de vidro com formato de cachimbo conforme mostra a foto 3.7, proposto pelo CSTC/NIT-140 (1982). Com este dispositivo é possível avaliar a absorção de água sob uma pressão inicial de 92 mm de coluna de água. Esta pressão de água corresponde à ação estática do vento com velocidade aproximada de 140 km/h.



Foto 3.7-Aparato para medir a absorção de água montado na parede em estudo (Método do Cachimbo)

Neste ensaio, o cachimbo, fixado sobre o revestimento, é preenchido com água até a referência do nível. Registra-se, a cada minuto, a leitura do abaixamento do nível de água em cm^3 , até completar 15 minutos ou até o nível de água atingir a marca de 4ml. Devem ser realizados, no mínimo, três pontos de ensaio sobre o revestimento, portanto, foram ensaiados quatro pontos.

3.4.1.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Para conferir o comportamento das argamassas foi executado o ensaio de absorção de água por capilaridade que teve por base os procedimentos da NBR 9779 (1987) com redução de medição das alturas da franja capilar e massas, devido à elevada taxa de absorção observada nestas argamassas.

Adotou-se o seguinte procedimento:

- Usaram-se moldes cilíndricos com diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm.
- O enchimento dos moldes se deu em 4 camadas com 30 golpes de soquetes conforme os procedimentos da NBR 7215 (1982). Para evitar a evaporação da água utilizou-se uma plaqueta de vidro sobre a face superior do molde. Os corpos-de-prova (2 tipos de argamassas) permaneceram em ambiente de laboratório até completar 24 horas, quando foram desmoldados e levados para três tipos diferentes de cura: para câmara úmida em temperatura de 70° C, em estufa em temperatura de 45° C e em ambiente de laboratório por 7 dias. Do lote de argamassas dosados foram retirados amostras para determinação da sua composição nas idades de 3 e 7 dias através de análise térmico diferencial.
- As amostras foram secas em estufa ventilada à temperatura de 40±5° C durante 24 horas.
- Resfriaram-se amostras em dessecador até a temperatura de 23±2° C e determinou-se a massa.
- Imergiram-se os corpos-de-prova em água (temperatura de 23±2° C) sendo mantido constante o nível de 5±1 mm acima da base. O recipiente atendeu aos requisitos da NBR 9779 (1987).

- Determinou-se a massa a altura capilar em 4 geratrizes posicionadas ortogonalmente entre si, em intervalos de 30, 90, 150 e 210 minutos contados a partir da imersão dos corpos-de-prova (a cada medição a superfícies dos corpos-de-prova era enxugada com toalha absorvente).
- Romperam-se os corpos de prova à tração por compressão diametral (NBR 7222, 1983), registrando-se ascensão de ruptura e a distribuição da ascensão capilar no interior do corpo-de-prova.

Feito o ensaio foi seguida a metodologia de ensaio proposta por TRISTÃO & ROMAN (1997). Calcula-se a absorção de água em kg/m^2 a partir da massa de água absorvida em relação à seção transversal do corpo de prova. Traça-se a curva de capilaridade onde a abscissa é a raiz quadrada do tempo em horas e a ordenada a absorção de água em Kg/m^2 . A declividade da reta ajustada no trecho retilíneo da curva expressa o coeficiente de capilaridade da argamassa.

3.4.2 ENSAIO DE DURABILIDADE AVALIADO ATRAVÉS DO ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO.

1) DESCRIÇÃO DO ENSAIO.

A durabilidade é a capacidade de resistir à degradação, ou seja, é a capacidade de um produto (material, componente, montagem ou construção) manter o seu desempenho acima dos níveis mínimos específicos de maneira a atender às necessidades dos usuários em cada situação específica. Uma maneira de poder medir a durabilidade é através de ensaios comparativos, que comparam a degradação produzida na amostra em análise por ambiente definido, com um padrão mínimo estabelecido. Para materiais e componentes novos, os ensaios acelerados são a única opção para a avaliação rápida da durabilidade. Nestes ensaios, o problema é correlacionar o que acontece em um laboratório com os fenômenos e a velocidade com que ocorrem nas condições de uso.

Para este trabalho foi definido empregar entre os testes de envelhecimento acelerado colocado no capítulo 2 e realizado por ROY et al. (1999), baseado em ciclos térmicos, onde se afirma que os materiais usados na construção civil são expostos ao sol e à chuva, e a mudanças de temperaturas durante o dia e a noite.

Como resultado das quedas bruscas de temperatura, os materiais sofrem mais contrações na superfície que no interior, ocorrendo dilatação na superfície e no interior. Assim com o aumento brusco das temperaturas a superfície se dilata mais que o interior, provocando tensões de contração na superfície e tensões de tração no interior. Igualmente, durante a secagem, a superfície se contrai mais o interior. Provocando tensões de tração que aparecem na superfície e no interior as tensões de compressão. Seguindo estas variações cíclicas que se produzem no material, foram feitos 30 ciclos de imersão em água por 10 minutos seguidos por secagem em estufa a 70° C por 30 minutos e outros 30 ciclos de molhagem por 6 horas e aquecimento por 18 horas.

2) EXECUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Para a realização do ensaio de avaliação da durabilidade, foram confeccionados 4 corpos-de-prova os quais apresentaram uma trama estrutural formada pelos blocos com cinza incorporado. Os corpos-de-prova foram identificados da seguinte maneira: **Painel 1** confeccionado com o bloco Emp. 25 % e **Painel 2** confeccionado como o bloco Exp-1 0% e ambos prismas com argamassas de assentamento e revestimento sem nenhuma adição de cinza (argamassa convencional-M1), outras duas foram confeccionados pelos blocos Exp-1 0% (**Painel 3**), Exp-1 50% (**Painel 4**) com argamassas de assentamento e revestimento com adição de cinza (argamassa CZL-CZP-M8).

Os protótipos foram concebidos com uma dimensão de 400 mm de largura por 400 mm de altura. e executados por um profissional experiente da Construção Civil. Na sequência estão as fotos 3.8 que ilustram a etapa de execução dos prismas da pesquisa.



Foto 3.8-Corpos-de-prova de paredes para ensaio de durabilidade.

Após a execução dos corpos de provas, estes foram curados ao ar em condições de laboratório por 28 dias. Sendo logo, submetido a todo o processo do ensaio de envelhecimento acelerado (ver foto 3.9).



a)



b)

Foto 3.9-Execução do ensaio de envelhecimento acelerado
a) corpos-de-prova imersos em água b) corpos-de-prova em estufa a 70° C.

Na bibliografia consultada não foram encontradas referências a ensaios normalizados para a caracterização do desempenho de paredes expostas a ciclos térmicos a não ser o caso de ROMAN (2000) que avaliou a influência das variações de temperatura e umidade (ciclos térmicos) na resistência de aderência em sistemas de revestimento em paredes externas.

Desta maneira, os corpos-de-prova que foram submetidos ao ensaio de envelhecimento acelerado passaram juntamente com outros corpos de provas que não foram envelhecidos aceleradamente, ao ensaio de determinação de resistência de aderência à tração. Esta etapa de arrancamento foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, que conta com um equipamento específico para a realização deste tipo de ensaio, denominado Form Test Prufsysteme, modelo Digimaxx C21.

3.4.2.1. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ADERÊNCIA À TRAÇÃO.

O fenômeno de aderência segundo ROMAN et al (2000) se caracteriza como um processo químico, físico e mecânico que se instala entre os diversos materiais empregados na construção das paredes revestidas. A aderência depende fundamentalmente da natureza dos materiais e da área de contato real entre eles. Com o passar do tempo devido aos esforços a que estiver submetido o sistema, as forças de aderência podem perder intensidade ou mesmo deixar de existir, provocando o descolamento das camadas. Este descolamento pode comprometer a segurança do local, uma vez que ao cair podem atingir objetos ou até mesmo as pessoas que estiverem nas proximidades.

A perda de aderência pode ser originada por uma sobrecarga ou um processo de fadiga lenta e gradual que se processa nas diversas camadas devido a esforços de natureza cíclica. A resistência de aderência ao arrancamento é normalmente determinada de tração normal.

Para aplicar tração, às parcelas de revestimentos isoladas através de furações com serra-copo, são colados discos de aço circular sobre as superfícies de cada parcela. Estes discos possuem um orifício rosqueado que permite o acoplamento do equipamento de ensaio para aplicação da tração no revestimento. A velocidade de aplicação da carga é controlada automaticamente pelo equipamento, que também registra a carga máxima de tração alcançada (NBR 13528, 1995).

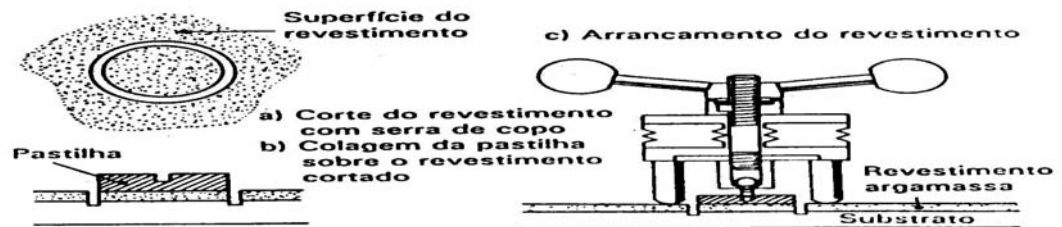


Figura 3.9- Sequência de preparo para realização do ensaio de resistência de aderência à tração.

a) DESCRIÇÃO DO ENSAIO.

Este ensaio visa determinar a condição de aderência dos elementos constituintes da parede, isto é, o grau de adesão entre as diferentes camadas que compõem o revestimento que, neste caso em particular, compreende substrato e revestimento. Dentro do contexto deste estudo, o ensaio permitiu verificar se os valores de aderência do revestimento são satisfatórios, pois se tratam de um parâmetro importante para auxiliar nas posteriores avaliações dos protótipos frente a ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro.

Para determinação dos valores de resistência de aderência à tração foram feitos ensaios em laboratório, de acordo com os preceitos estabelecidos na norma brasileira NBR 14084 (1985). Nela são especificados os materiais e equipamentos necessários, e os procedimentos de ensaios.

Basicamente, trata-se da aplicação de carga de tração a pequenas porções de revestimentos até que haja seu arrancamento, registrando-se o valor de carga máxima de tração aplicada e examinando cada peça para descrição do tipo de ruptura, que pode se dar de diferentes formas (ver figura 3.10):

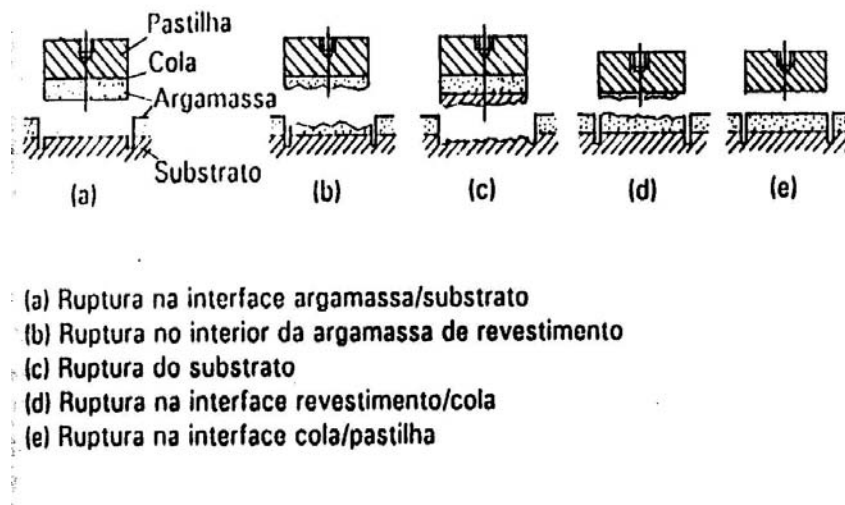


Figura 3.10 - Tipos de ruptura no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento

Após cada arrancamento, avalia-se e registra-se a forma como se deu o rompimento e o tipo de ruptura. Na soma geral, foram arrancados 20 discos distribuídos aleatoriamente em cada corpos de provas. A seguir, são apresentadas as seqüências de realização do ensaio.

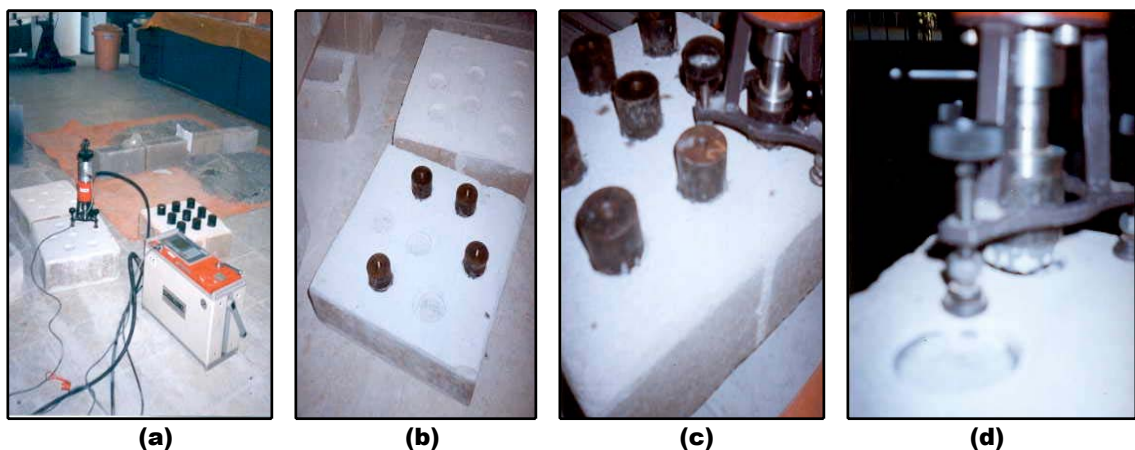


Foto 3.10-Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento. a) Preparação b) Colagem pastilha c) Detalhe de acoplamento d) Arrancamento das parcelas.

3.4.2.2 ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL.

A análise térmica diferencial foi realizada nas argamassas convencional (M1a) e com adição de cinzas de carvão mineral (M8a) nas idades de 3, 7 e 100 dias nas mesmas argamassas sem envelhecer e envelhecidas através de ciclos térmicos.

As argamassas com 3 e 7 dias de idades foram preparadas conforme procedimentos NBR 7215 (1982) nos moldes em cilindros com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura; os corpos-de-prova permaneceram nos moldes com tampa até a idade de 24 horas, quando foram desmoldados e levados a três tipos de cura: na câmara úmida para cura acelerada na temperatura de 70° C, no ambiente de laboratório e na estufa por 7 dias. As argamassas testadas envelhecidas e sem envelhecer foram retiradas dos corpos de provas testados por ciclos térmicos. Na idade do ensaio, desbastou-se 5 mm de espessura na camada externa do corpo-de-prova, sendo seu miolo triturado manualmente, secos à temperatura de 70±10° C, moído em moinho de bolas, peneirado na malha 150 µm, sendo utilizado para ensaio o material passante nesta peneira.

Uma vez preparada a amostra, utilizou-se o equipamento patenteado pelo INSA-Lyon para análise térmica diferencial. Tanto o cadinho porta amostra, quanto o de referência eram de alumina, sendo o ensaio realizado em atmosfera ao ar, com taxa de aquecimento de 10°C/min, até atingir a temperatura de 900°C no caso das amostras com idades de 3 e 7 dias e 1000°C para as amostras envelhecidas e sem envelhecer por ciclos térmicos. Cada amostra consistia numa massa representativa de 600 mg.

Registrou-se a curva da temperatura da amostra e comparou-se com a curva da temperatura de caulim calcinado de comportamento inerte. As diferenças de temperatura refletiram transformações endotérmicas e exotérmicas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios experimentais em laboratório, tanto dos materiais empregados quanto dos respectivos critérios de desempenho que foram avaliados conforme descrição realizada no capítulo 3. Foram verificadas algumas das características dos materiais em relação aos valores obtidos em pesquisas anteriores e àqueles estipulados pela literatura especializada, para assim conferir se eram possíveis suas utilizações para a pesquisa.

4.1 ENSAIO DA ESTANQUEIDADE

4.1.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Este ensaio foi realizado com três amostras de cada argamassa, só que uma amostra de cada combinação sofreu fissuras durante o deslocamento no processo de avaliação com a câmara de estanqueidade. Por este motivo não foram incorporados seus resultados, já que não foi possível concluir o ensaio. Foram testados os painéis com revestimentos por 7 horas, realizando observações na face oposta a cada 30 minutos.

A seguir, nas tabelas 4.1 e 4.2, são apresentados os resultados obtidos para cada um dos painéis.

Tabela 4.1-Parâmetros obtidos para os painéis com argamassa convencional.

Parâmetros		Painéis com argamassa convencional		
Amostras		1	2	3
Tipos de blocos empregados		Emp (25%)	Exp-1(0%)	Exp-2 (0%)
1	Tempo de aparição da umidade (horas)	03:15	03:25	X
2	Tempo de aparição da 1 ^{ra} mancha de umidade visível (horas)	04:30	05:30	X
3	Área de umidade ao fim do período(m ²)	0,03	0,035	X
4	Água inicial de entrada (m ³)	1,26	1,26	X
5	Água total coletada ao final do período (m ³)	1,214	1,208	X
6	Absorção das amostras ao final do período (%)	3,65	4,13	X

(X) Amostras que sofreu fissura durante deslocamento.

Fazendo-se uma análise detalhada de cada parâmetro das tabelas 4.1 e 4.2 e observando-se as figuras 4.1 e 4.2, podemos concluir que em relação ao tempo de aparição da umidade e da mancha, tiveram comportamentos similares para cada argamassa testada, pois houve aparição da umidade e da mancha primeiro nos painéis convencionais.

Tabela 4.2-Parâmetros obtidos para os painéis com argamassa CZL-CZP.

Parâmetros		Painéis com argamassas com cinzas		
Amostras		1	2	3
Tipos de blocos empregados		Exp-1 (50%)	Exp-1 (0%)	Exp-2 (0%)
1	Tempo de aparição da umidade (horas)	04:20	03:30	X
2	Tempo de aparição da 1 ^{ra} mancha de umidade visível (horas)	06:30	05:00	X
3	Área de umidade ao fim do período(m ²)	0,015	0,025	X
4	Água inicial de entrada (m ³)	1,26	1,26	X
5	Água total coletada ao final do período (m ³)	1,203	1,194	X
6	Absorção das amostras ao final do período (%)	4,52	5,24	X

(X) Amostras que sofreu fissura durante deslocamento.

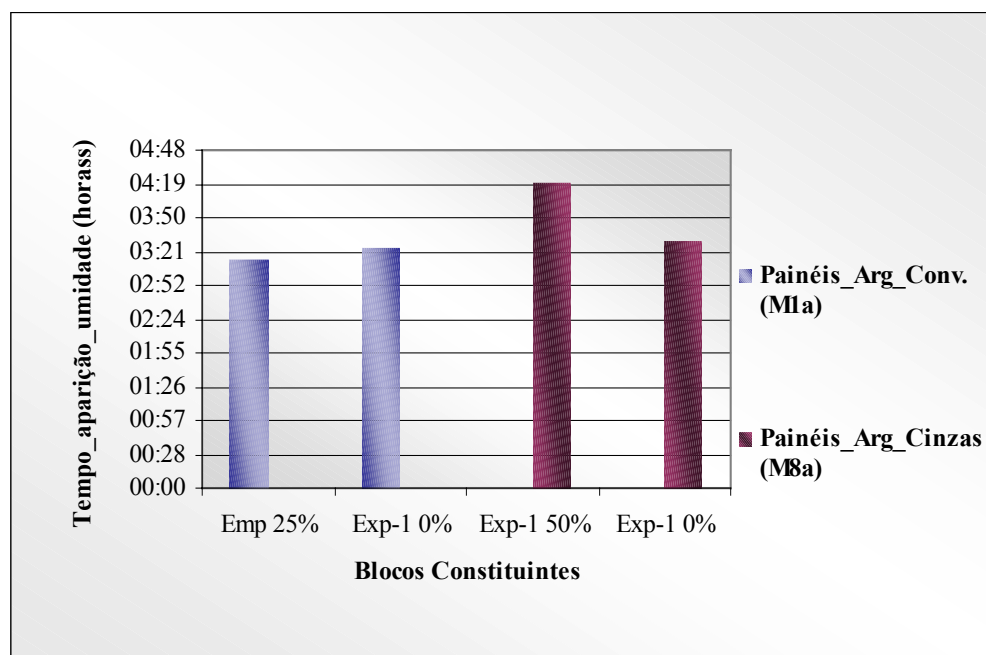


Figura 4.1-Tempo de aparição da umidade nos painéis avaliados.

As argamassas com cinzas incorporadas apresentaram um tempo maior para que houvesse a aparição da umidade e da 1ª mancha, tendo um comportamento mais favorável durante o tempo de aspersão de água e vento em comparação às argamassas convencionais.

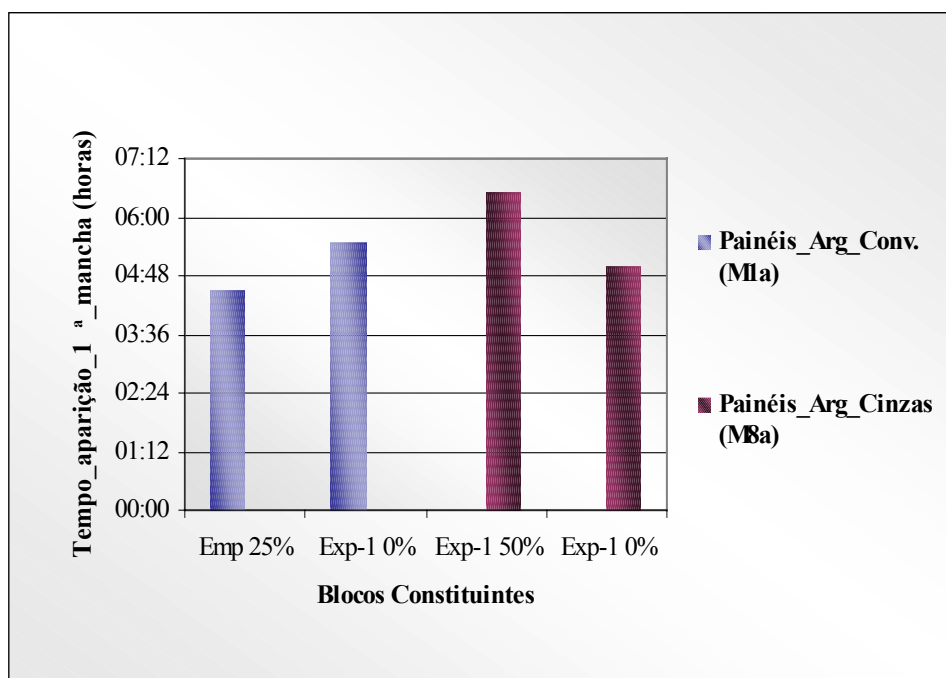


Figura 4.2-Tempo de aparição da primeira mancha nos painéis avaliados.

Nas fotos 4.1 e 4.2, apresenta-se o aparecimento das manchas para cada uma das paredes, podendo observar que as manchas, no caso dos painéis com argamassa convencional, não apareceram no centro das amostras e sim nas laterais, avançando até umedecer a face oposta à área de incidência de água e ar. Além disso, observou-se que na face lateral do painel, a água avançou primeiramente pela junta e a partir dela para os blocos.

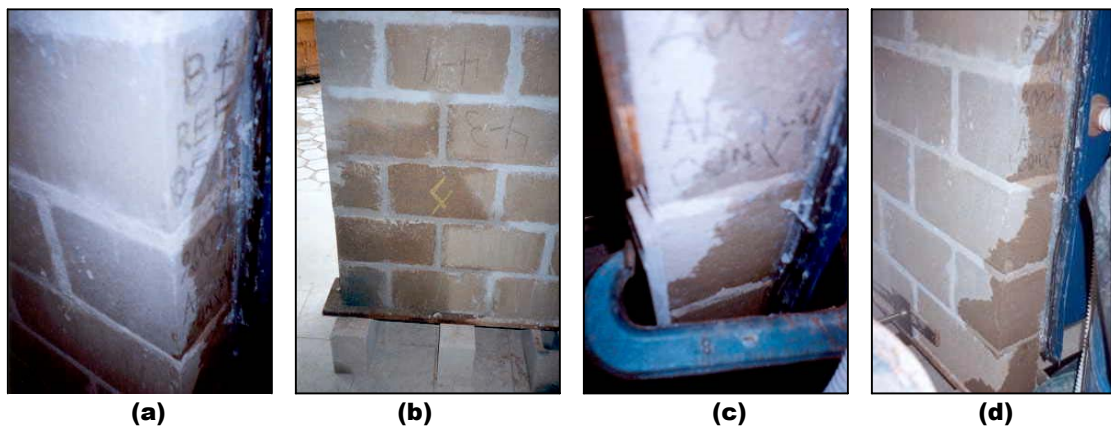


Foto 4.1-Área de umidade na face oposta dos painéis com argamassa convencional ao final do período de ensaio.

Nos protótipos com argamassa com cinzas incorporadas, as manchas foram de tamanho menor, ocorrendo por avanço da umidade através das juntas e pela lateral das amostras.

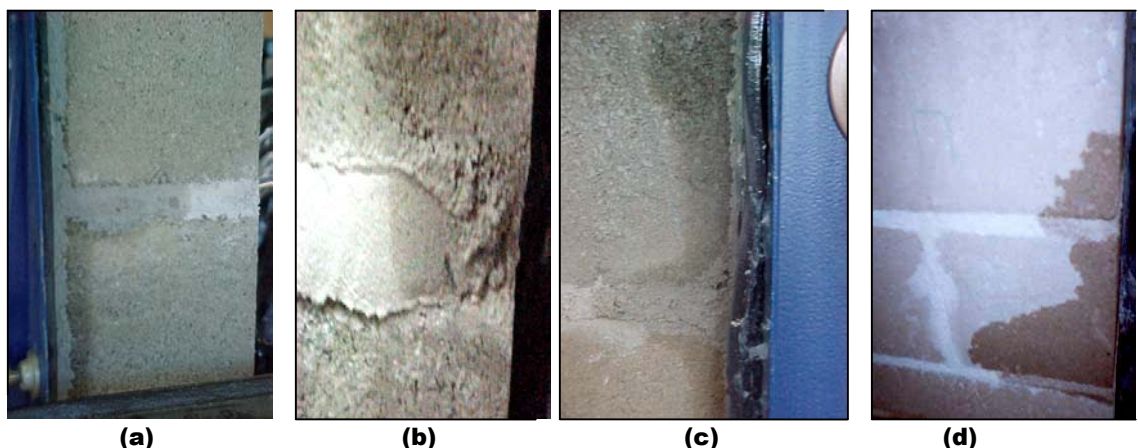


Foto 4.2-Área de umidade na face oposta dos painéis com cinzas incorporadas no final do período de ensaio.

Os valores da área de umidade foram maiores para as argamassas convencionais do que para as argamassas com cinzas incorporadas como pode ser observado na figura 4.3.

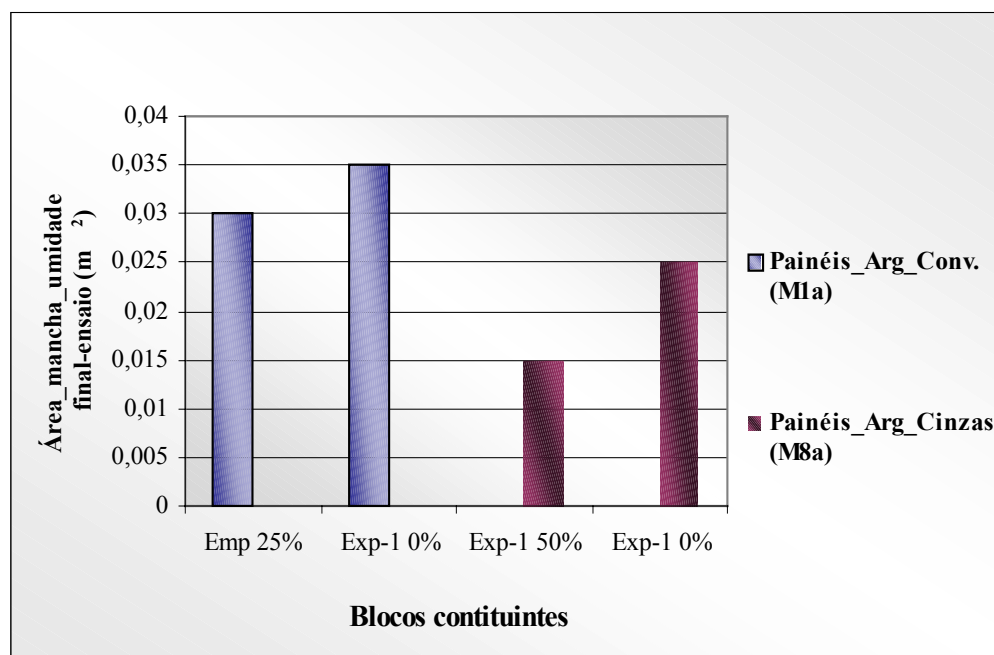


Figura 4.3-Área de umidade de cada argamassa ao final do ensaio.

Nos dois casos o valor da mancha se encontrava dentro dos valores estabelecidos para o ensaio, ou seja, se pode conferir analisando os resultados das figuras 4.4 e da tabela 4.3 onde são apresentados os diferentes níveis de desempenho para estanqueidade à água de fachada (somente parede).

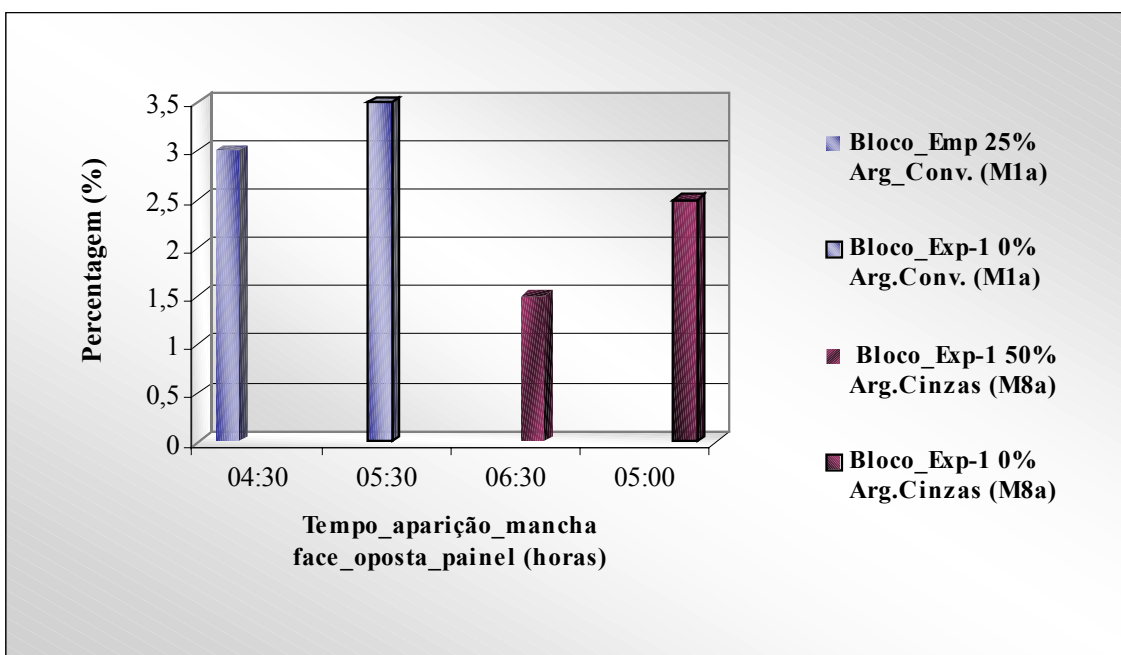


Figura 4.4-Percentagem da área de umidade.

Pode-se concluir que os painéis avaliados se encontram dentro dos valores estabelecidos na tabela 4.3, porque para todos os painéis não houve aparição de manchas às três horas. Já a partir das 4 horas começou a aparecer umidade nas paredes, e no final do ensaio foi que apareceram as manchas, que ficaram dentro dos limites, porque para o caso dos painéis convencionais a percentagem foi de 3 e 3,5 % e para os painéis com cinzas incorporadas foi de 1,5 e 2,5 %.

Tabela 4.3-Níveis de desempenho para ensaio de estanqueidade.
(CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Projeto 02:136.01.004)

Nível de desempenho	Tempo mínimo de aparecimento da 1ª mancha na face interna da parede	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade da face oposta à incidência da água em relação à área total do corpo de prova submetido à aspersão de água no final do ensaio
Mínimo	3 horas	0%
Superior	5 horas	5%
Elevado	7 horas	10%

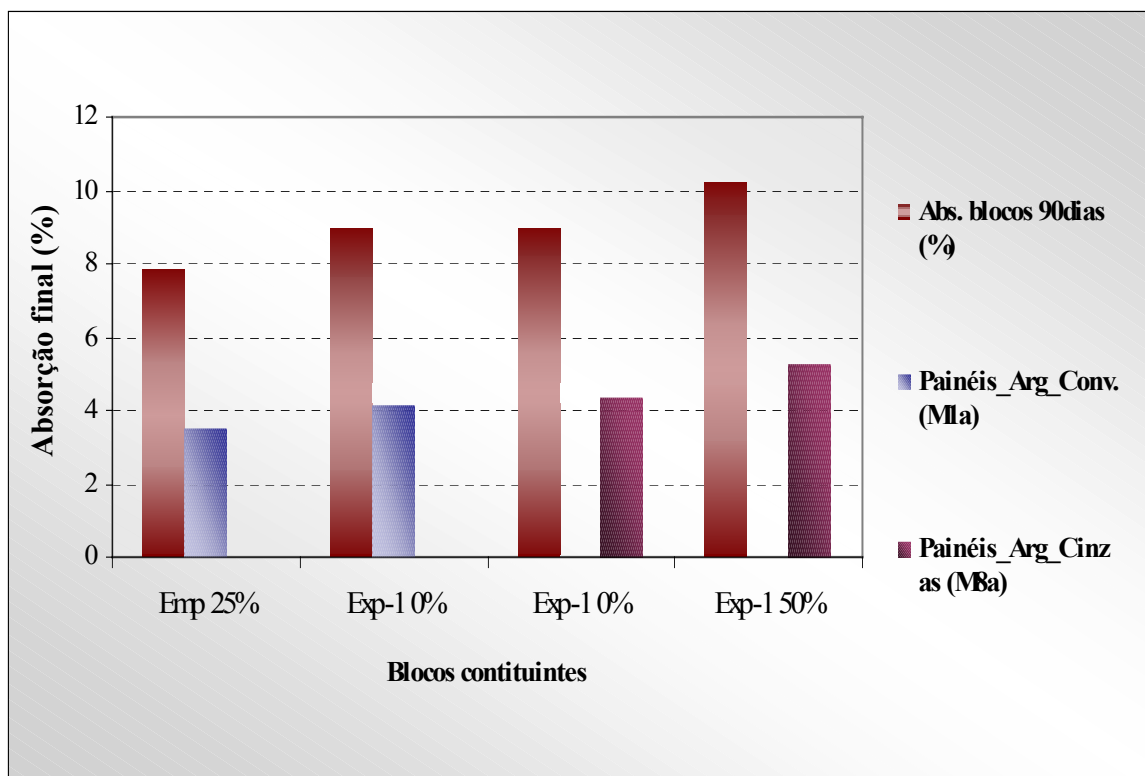


Figura 4.5-Absorção dos painéis no final do período de exposição.

Com relação à absorção dos painéis depois do período de exposição na câmara de estanqueidade, cujos resultados se encontram na figura 4.5, os painéis com argamassa convencional tiveram uma absorção menor do que os painéis com argamassa com cinzas incorporadas. Considerando que os painéis com argamassa convencional eram constituídos de blocos de menor absorção em comparação com os painéis revestidos de argamassas com cinzas, e que apresentaram menor absorção, podendo-se considerar que a absorção dos blocos tem influência sobre esta propriedade.

4.1.1.1 TEOR DE UMIDADE

Analisando os resultados do teor de umidade nas argamassas de revestimento dos painéis no final do ensaio de estanqueidade apresentados na figura 4.6, pode-se observar que para os diferentes pontos extraídos de cada argamassas tiveram o mesmo comportamento, constatando-se que a argamassa convencional (M1a) teve um maior teor de umidade em relação à argamassa com cinzas incorporadas (M8a).

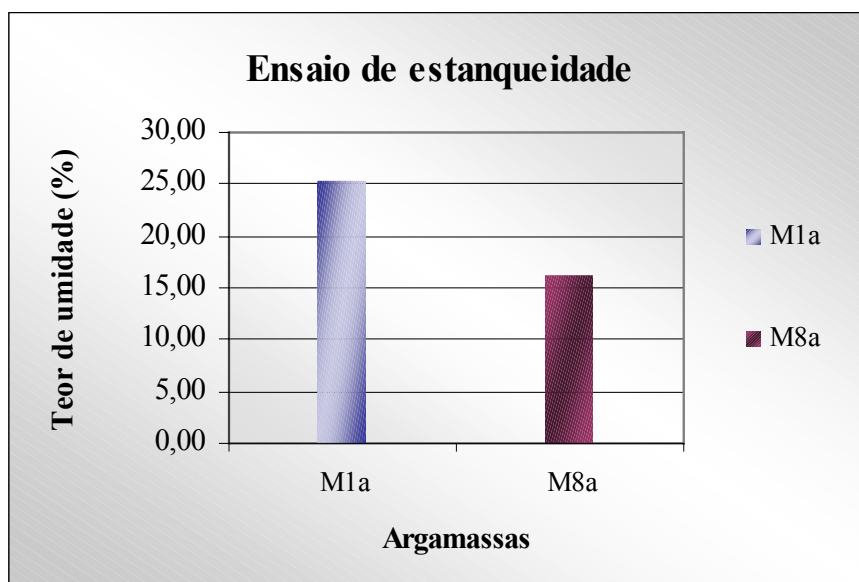


Figura 4.6 - Teor de umidade das argamassas ao final do ensaio de estanqueidade.

4.1.1.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO

Esta característica foi avaliada para conferir o comportamento de cada argamassa. Nas figuras 4.7 e 4.8 são apresentados os resultados obtidos ao serem submetidos à absorção de água por baixa pressão. Onde se pode concluir que a argamassa convencional (M1a) teve uma maior absorção que a argamassa com cinzas incorporadas (M8a). Mas, ao compará-las com as argamassas pesquisadas por LENZI (2001) podemos conferir que não tiveram comportamento similar para as duas argamassas, as avaliadas neste trabalho tiveram uma absorção maior, ou seja, o cimento e areia tiveram influência neste ensaio.

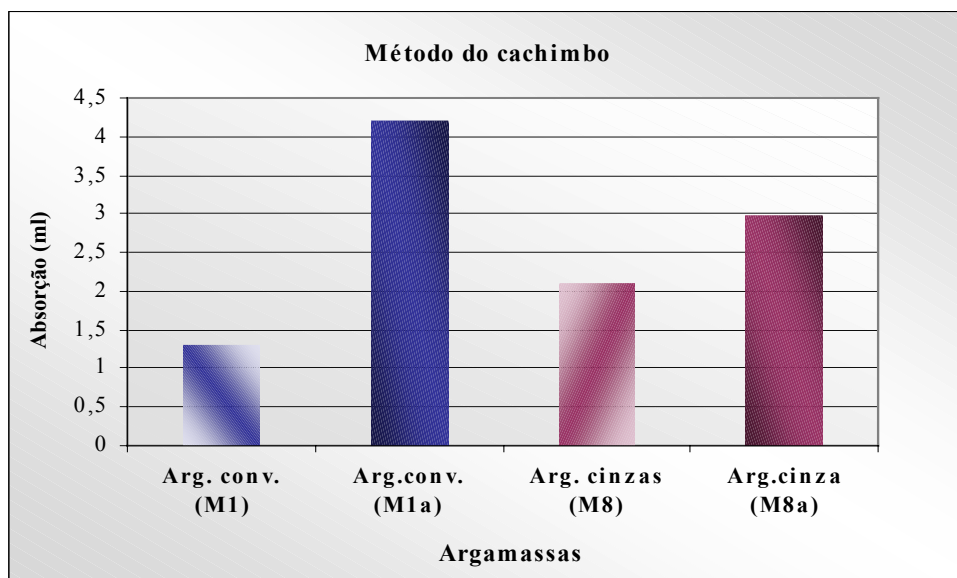


Figura 4.7-Absorção por baixa pressão das argamassas (Método do Cachimbo).

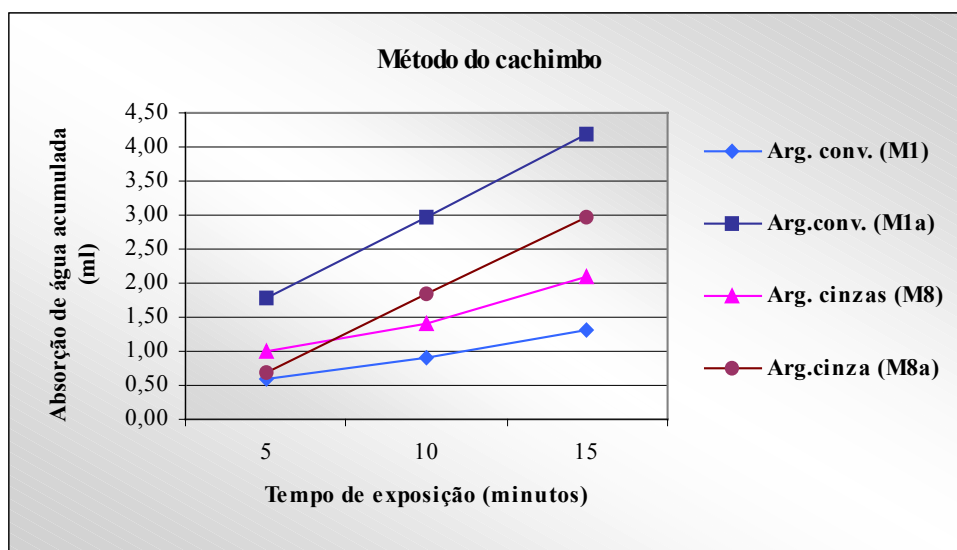


Figura 4.8-Absorção acumulada por baixa pressão das argamassas.

4.1.1.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.

Observando a figura 4.9 a absorção por capilaridade das argamassas, neste ensaio a argamassas convencional teve uma absorção menor do que a argamassa com cinzas.

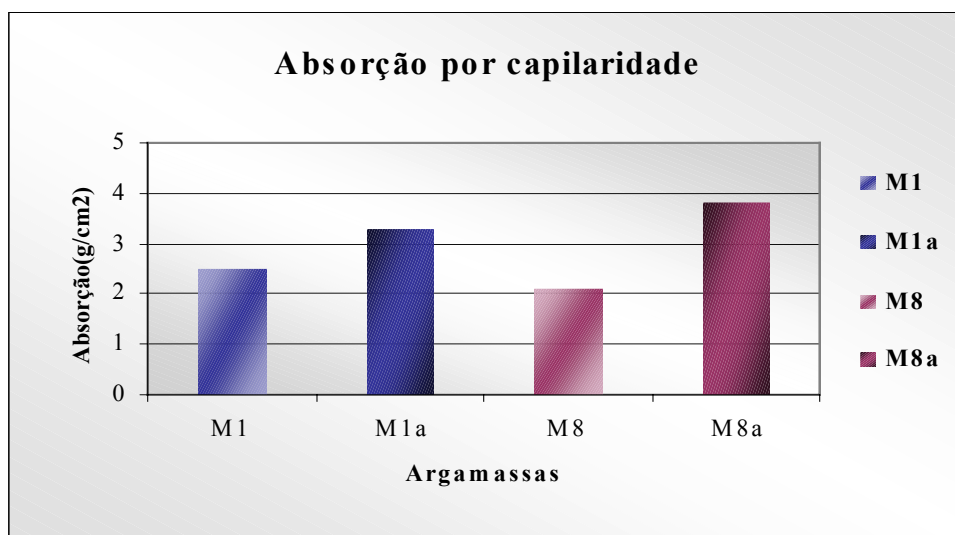


Figura 4.9 - Absorção de água por capilaridade nas argamassas.

A altura capilar pode ser observada na figura 4.10, onde somente a argamassa M8a em condições de cura na câmara úmida não ficou completamente saturada ao final do tempo de exposição.

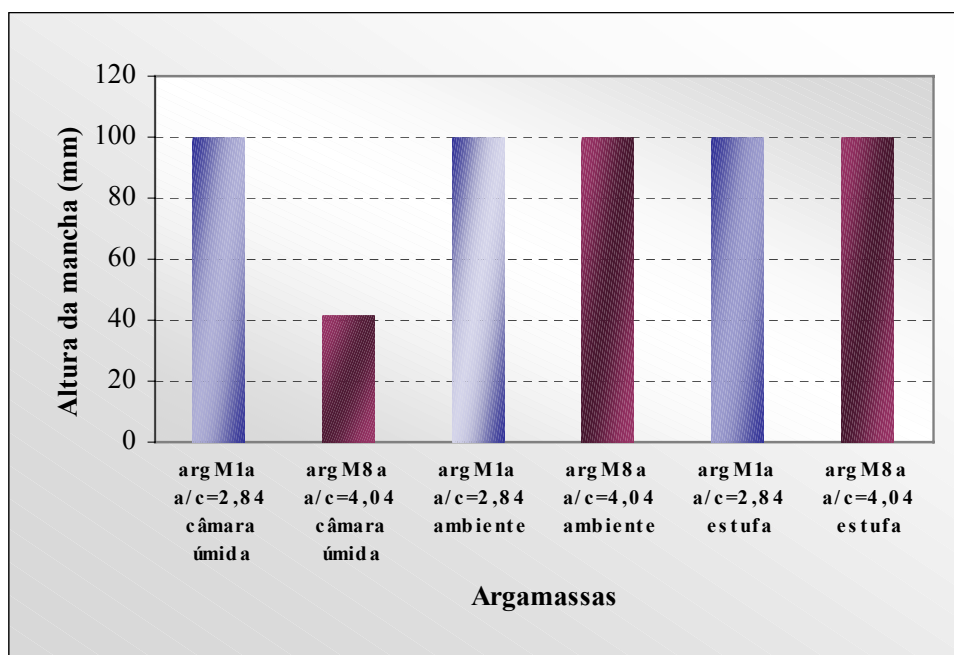


Figura 4.10 – Altura capilar média das argamassas.

Como foi apresentado no capítulo 3 item 3.4.1.1 foi aplicada a metodologia de ensaio proposta por TRISTÃO (1997) para a obtenção das equações das retas ajustadas com seus respectivos coeficientes de capilaridade das argamassas, os quais são apresentados na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Coeficiente de capilaridade das argamassas.

Argamassas	Idade	Coeficiente de correlação (R^2)	Equação da reta ajustada	Coeficiente de capilaridade
argM1a a/c=2,84 câmara úmida	7	0,9766	$y = 1,5498x + 0,4632$	1,5498
argM1a a/c=2,84 câmara úmida	7	0,9725	$y = 1,4862x + 3,2754$	1,4862
argM8a a/c=4,04 câmara úmida	7	0,9716	$y = 0,335x + 0,9431$	0,335
argM8a a/c=4,04 câmara úmida	7	0,9648	$y = 0,4292x + 1,0735$	0,4292
argM1a a/c=2,84 ambiente	7	0,9525	$y = 1,6486x + 3,1969$	1,6486
argM8a a/c=4,04 ambiente	7	0,8707	$y = 1,5401x + 10,034$	1,5401
argM1a a/c=2,84 estufa	7	0,9137	$y = 1,3913x + 8,0831$	1,3913
argM8a a/c=4,04 estufa	7	0,8772	$y = 1,4074x + 11,054$	1,4074

Verifica-se que as argamassas que estiveram em ambiente de laboratório tiveram coeficientes de capilaridade superiores que as argamassas que estiveram na câmara úmida e na estufa. As argamassas que tinham cinzas apresentaram coeficientes de capilaridade menores que as das convencionais, no caso do ambiente de cura: câmara úmida e ambiente.

Segundo TRISTÃO (1997) o limite para o coeficiente de capilaridade a ser adotado pode ser muito variável em função do meio ambiente onde a argamassas vão ser aplicadas, pois depende diferente velocidade de evaporação.

Por outro lado, analisando a norma DIN 52617/87 APUD TRISTÃO (1997) que estabelece que para os revestimentos hidrófugos, a argamassa deve apresentar um coeficiente de absorção capilar menor ou igual a $0,5 \text{ kg (m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$. Dos valores obtidos a argamassa com cinzas incorporadas (M8a) que esteve na câmara úmida foi a única que enquadrou-se dentre os valores estabelecidos pela norma.

A partir das colocações de McCARTER (1996) apud HALL (1977) foi realizado o estudo da absorção de água acumulado i para as argamassas testadas. A seguir são apresentados na figura 4.11 e na tabela 4.5, os resultados obtidos para argamassas em diferentes condições de cura. Vale salientar que estes resultados são colocados como uma análise qualitativa porque são poucos os pontos analisados para a obtenção da reta ajustada. Pelo que os resultados não serão apresentados como conclusivos, sendo necessário de novas medições com maior quantidades de dados para obtenção de uma melhor reta.

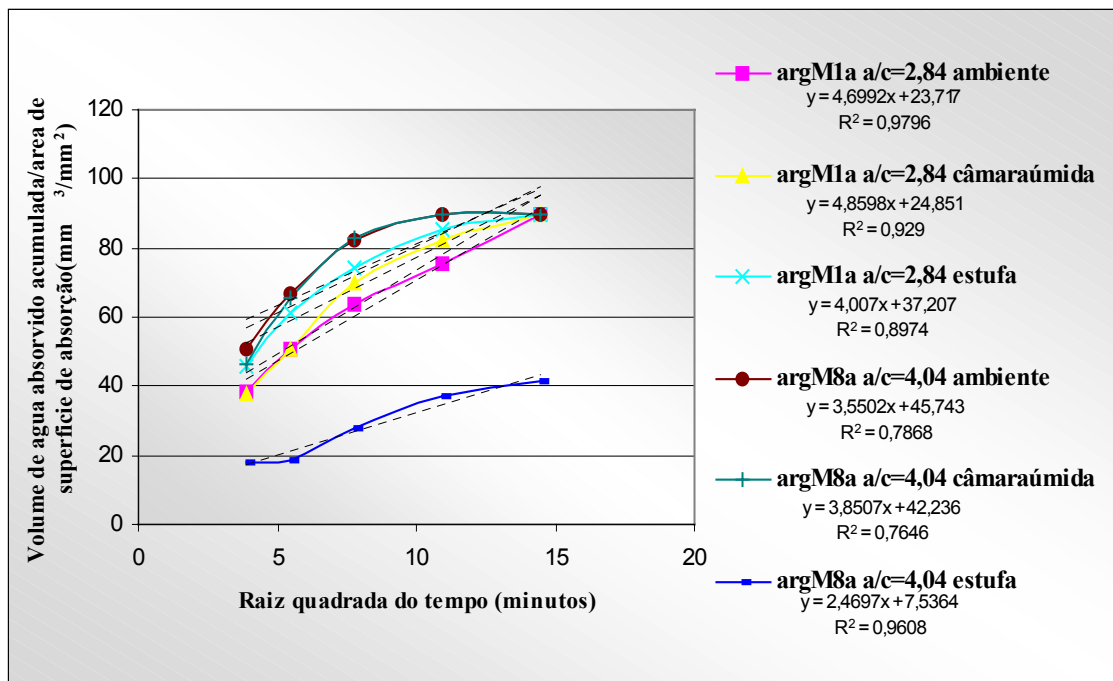


Figura 4.11 - Absorção de água acumulada por capilaridade nas argamassas.

Argamassas	a/c	Equação da reta	A	S (mm/min ^{1/2})	i (mm ³ /mm ²)
M1a_ambiente	2,84	y=4,6997x+23,712	23,72	4,70	318,54
M1a_câmaraúmida	2,84	y=4,8598x+24,851	24,85	4,86	330,99
M1a_estufa	2,84	y=4,007x+37,207	37,21	4,00	356,21
M8a_ambiente	4,04	y=3,5502x+45,743	45,74	3,55	379,72
M8a_câmaraúmida	4,04	y=3,8507x+42,236	42,24	3,85	374,98
M8a_estufa	4,04	y=2,4697x+7,5364	7,54	2,47	142,77

Tabela 4.5 Infiltração das argamassas.

Podemos observar que os melhores resultados foram obtidos para a argamassa convencional (M1a) sendo mais favoráveis nas amostras onde a cura foi realizada em câmara úmida (90 % de umidade).

Segundo LORDSLEEM et al. (1997), dentre os diversos métodos existentes para avaliar a estanqueidade das paredes, abordaram dois procedimentos: o método do cachimbo e o método de ensaio de estanqueidade CPqDCC. A partir desses ensaios experimentais, concluíram que a estanqueidade à água de paredes revestidas com argamassas é diretamente proporcional à espessura do revestimento. Em relação às manchas de umidade, em sua maioria, têm origem nas juntas de assentamento e a estanqueidade à água é também função do tipo de componente empregado na construção da alvenaria.

Neste trabalho, pode-se concluir que em relação ao exposto anteriormente, as manchas de umidade tiveram sua origem nas juntas de assentamento, sendo a área e a percentagem de umidade menor na argamassa com cinzas. No caso da proporcionalidade da estanqueidade com relação à espessura do revestimento não foi possível constatar esse argumento porque todos os painéis tinham as mesmas espessuras de 20mm.

Com relação à estanqueidade dos tipos de componentes desta pesquisa, os painéis mostraram-se estanques. É possível verificar que os painéis revestidos com argamassas cinzas apresentaram um maior tempo para o aparecimento de umidade e de mancha. Também apresentou valores superiores de absorção de água acumulada no ensaio de estanqueidade não sendo assim para o caso do ensaio de capilaridade, mas pode ser associado ao fato que as amostras que foram ensaiadas com 7 dias de idade quando ainda estava em processo de hidratação.

Porém, pode-se observar que as argamassas com cinzas apresentaram valores superiores de absorção de água acumulada e volume de água absorvido (*i*), mas menores coeficientes de capilaridade que as argamassas convencionais e conseqüentemente uma menor área e percentagem de umidade na face oposta da parede ao final do ensaio de estanqueidade.

4.2 ENSAIO DA DURABILIDADE AVALIADO ATRAVÉS DO ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

4.2.1 APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Como foi colocado no capítulo 3 os corpos-de-prova que foram testados no ensaio de envelhecimento acelerado por ciclos térmicos, passaram depois pelo ensaio de arrancamento conjuntamente com outros corpos-de-prova que não foram envelhecidos aceleradamente. O ensaio de arrancamento de cada parcela de revestimento fornece o valor da carga máxima de tração suportada, que deve vir acompanhada da descrição, mediante simples análise visual, do tipo de ruptura observada. O arrancamento foi realizado através de equipamento de tração hidráulico e os dados foram obtidos através de dispositivo digital para leitura de carga.

A seguir, apresentam-se as tabelas 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, contendo os resultados dos corpos-de-prova antes e depois de ser avaliado no ensaio de envelhecimento acelerado. Observa-se, que diversas amostras ensaiadas não contêm resultado de resistência à tração, pois ocorreu desprendimento da parcela de revestimento no momento da realização das furações com a serra-copo, isto acontece quando a furadeira se desvia do eixo de furação e acaba provocando arrancamento da parcela, por efeito de alavanca.

Tabela 4.6 - Série de ensaios: Painei 1
Blocos Emp 25 %_Argamassa Convencional M1a

ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO(1) ARGAMASSA COM REVESTIMENTO CONVENCIONAL SEM PROCESSO DE ENVELHECIMENTO						
CP N ^o	Carga de ruptura(kN)	Diâmetro de ruptura(mm)	Área da pastilha(mm ²)	Resistencia de aderência à tração (MPa)	Espessura do revestimento(mm)	Forma de ruptura
1	X	X	X	0	X	X
2	X	X	X	0	X	X
3	0,617	49,2	1962,5	0,31	20	B
4	0,475	48,8	1946,8	0,24	20	B
5	0,403	48,4	1962,5	0,21	20	B
6	0,221	47,3	1962,5	0,11	20	B
7	X	X	X	0,00	X	X
8	X	X	X	0,00	X	X
9	0,325	49	1962,5	0,17	20	B
10	X	X	1962,5	0,00	X	X
11	0,488	48	1962,5	0,25	20	B
12	0,649	49	1962,5	0,33	20	B
13	0,311	48	1962,5	0,16	20	C
14	0,26	48	1962,5	0,13	20	B
15	X	48	X	0,00	X	X
16	0,475	48,5	1962,5	0,24	20	B
17	0,318	49	1962,5	0,16	20	B
18	0,36	48	1962,5	0,18	20	B
19	0,382	47,5	1962,5	0,19	20	B
20	0,288	48	1962,5	0,15	21	B
(B) Ruptura argamassa			(C) Ruptura do substrato			

ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO(2)
ARGAMASSA COM REVESTIMENTO CPZ-CPL
SEM PROCESSO DE ENVELHECIMENTO

[illegible]

ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO(3) ARGAMASSA COM REVESTIMENTO CONVENCIONAL COM PROCESSO DE ENVELHECIMENTO						
CP Nº	Carga de ruptura(kN)	Diâmetro de ruptura(mm)	Área da pastilha(mm²)	Resistencia de aderência à tração (MPa)	Espessura do revestimento(mm)	Forma de ruptura
1	0,377	48	1962,5	0,19	20	B
2	0,764	48	1962,5	0,39	20	B
3	0,599	49,5	1962,5	0,31	20	B
4	0,598	48	1962,5	0,30	20	B
5	0,308	48	1962,5	0,16	20	B
6	0,362	49,5	1962,5	0,18	20	B
7	0,435	48	1962,5	0,22	20	B
8	0,486	47,5	1962,5	0,25	20	B
9	0,634	48	1962,5	0,32	20	B
10	0,283	48	1962,5	0,14	20	B
11	X		X	X	X	B
12	X		X	X	X	B
13	X		X	X	X	B
14	0,483	48,5	1962,5	0,25	20	B
15	X		X	X	X	B
16	X		X	X	X	B
17	X		X	X	X	B
18	X		X	X	X	B
19	X		X	X	X	B
20	X		X	X	X	B
(B) Ruptura argamassa						

**Tabela 4.9 - Série de ensaios: Painei 4
(Blocos Exp 1 -50%_Argamassa CZL-CZP)**

ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (4) ARGAMASSA COM REVESTIMENTO CPZ-CPL COM PROCESSO DE ENVELHECIMENTO						
CP N ^o	Carga de ruptura(kN)	Diâmetro de ruptura(mm)	Área da pastilha(mm ²)	Resistencia de aderência à tração (MPa)	Espessura do revestimento(mm)	Forma de ruptura
1	0,125	48	1962,5	0,06	20	B
2	0,184	48	1962,5	0,09	20	B
3	0,284	48	1962,5	0,14	20	B
4	0,277	48	1962,5	0,14	20	B
5	0,305	48	1962,5	0,16	20	B
6	0,319	48	1962,5	0,16	20	B
7	0,384	48	1962,5	0,20	20	B
8	0,286	48	1962,5	0,15	20	B
9	0,723	48	1962,5	0,37	20	B
10	0,724	48	1962,5	0,37	20	B
11	0,319	48	1962,5	0,16	20	B
12	0,404	48	1962,5	0,21	20	B
13	0,586	48	1962,5	0,30	20	B
14	0,484	48	1962,5	0,25	20	B
15	0,232	48	1962,5	0,12	20	B
16	0,373	48	1962,5	0,19	20	B
17	0,642	48	1962,5	0,33	20	B
18	0,616	48	1962,5	0,31	20	B
19	0,695	48	1962,5	0,35	20	B
20	X	X	X	X	X	X
(B) Ruptura argamassa						

Os resultados das quatro tabelas anteriores foram colocados de forma resumida na tabela 4.13 e 4.14, para melhor visualização, contendo a média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada painel ensaiado.

Tabela 4.10 - Resumo Ensaio de Aderência à Tração.

RESUMO DO ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO				
Sem tratamento estatístico				
	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3	ENSAIO 4
Amostras	Conv. sem envelhecer	Cinzas sem envelhecer	Conv. envelhecido	Cinzas envelhecido
MÉDIA (MPa)	0,20	0,18	0,25	0,21
D. PADRÃO	0,07	0,06	0,08	0,09
CV(%)	34,65	34,29	32,39	42,06

Os resultados dos ensaios de aderência à tração coletada apresentaram elevado coeficiente de variação, sendo assim, os resultados são mostrados resumidamente em duas formas: coletados e estatisticamente tratados, isto é, eliminando-se os valores espúrios até o limite de 5 amostras ou até alcançar coeficiente de variação inferior a 10%.

Tabela 4.11 - Resumo Ensaio de Aderência à Tração.

RESUMO DO ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO				
Com tratamento estatístico				
	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3	ENSAIO 4
Amostras	Conv. sem envelhecer	Cinzas sem envelhecer	Conv. envelhecido	Cinzas envelhecido
MÉDIA (MPa)	0,23	0,23	0,31	0,34
D. PADRÃO	0,03	0,02	0,05	0,03
CV(%)	10,87	6,52	16,13	7,35

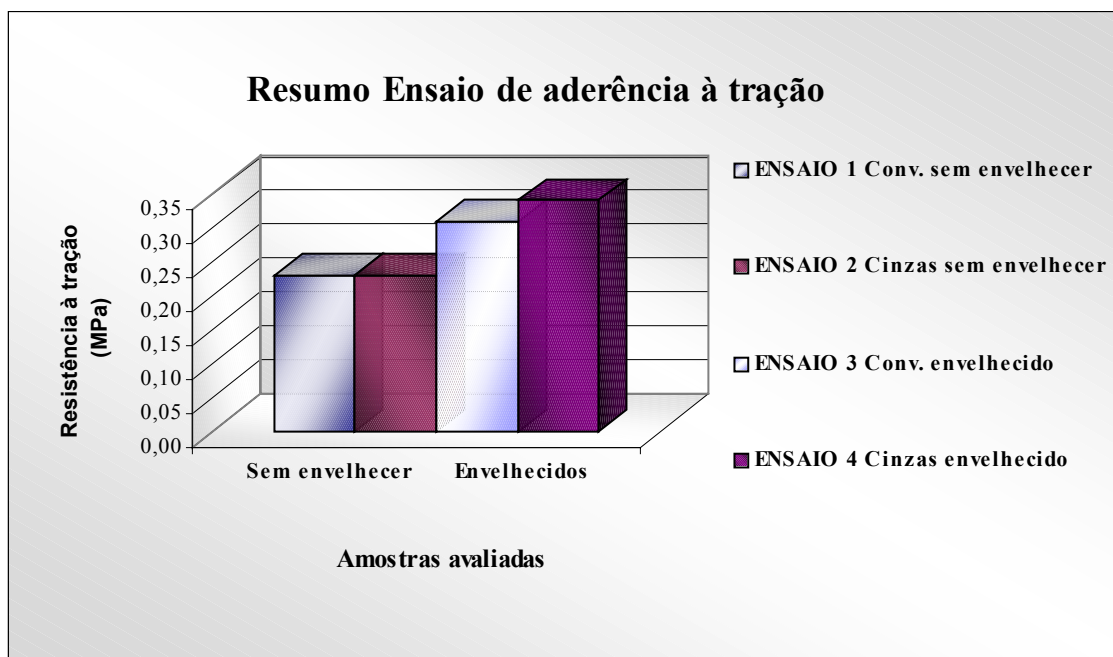


Figura 4.12-Resistência de aderência à tração nos corpos-de-prova avaliados.

Com o intuito de ter um parâmetro de comparação para a análise dos resultados obtidos, podemos dispor das recomendações da norma NBR 13749 (ABNT, 1996) que estabelece como requisito que as argamassas para revestimento externo atinjam o limite de 0,30 MPa. Observando-se os resultados analisados estatisticamente, tanto os corpos-de-prova com argamassa convencional quanto os corpos com cinzas sem envelhecer apresentaram valores inferiores ao apontado pela norma. Já em relação aos corpos-de-prova convencionais e os com cinzas incorporadas que passaram pelo processo de envelhecimento, eles alcançaram valores superiores aos estabelecidos pela norma.

As argamassas do painel 1 (argamassa convencional sem envelhecimento) tiveram 10 % rompimento no substrato e 65 % na argamassas e as do painel 3 (argamassa convencional envelhecida) tiveram 100% rompimento na argamassa.

No painel 2 (argamassa com cinza sem envelhecer) a ruptura foi de 10% na interface do revestimento-cola, 5 % no substrato e 45 % na argamassa. No painel 4 envelhecido ocorreram ruptura 65 % na argamassa.

Podemos concluir que os corpos-de-prova convencionais e com cinzas apresentaram resistência de aderência à tração superior depois de realizado o ensaio de envelhecimento, mas as amostras de argamassas com cinzas, que foram envelhecidos, tiveram resultados superiores. Indicando com o decorrer do tempo não houve deterioração das características da argamassa com relação á aderência.

Analisando os resultados obtidos por ROY (1999) observou-se incremento da resistência á compressão devido aos ciclos de molhagem e secagem que contribuíram aumentar a hidratação dos compostos do concreto. Ao mesmo tempo, essas tensões térmicas reduziram $0,00816 \text{ KN/mm}^2$ o modulo Young (Modulo de deformação analisada por ciclos).

No entanto, a resistência de aderência ao arrancamento do sistema cerâmico testado por ROMAN (2000) não apresentou degradação significativa após de 120 ciclos de temperatura e umidade.

Para melhor entendimento do comportamento das amostras antes e depois do ensaio de envelhecimento foi avaliada a reação de hidratação através da análise térmico diferencial. Nos gráficos 4.13 e 4.14 estão expostos os resultados de cada tipo para as idades de três, sete e cem dias.

A brucita ($Mg(OH)_2$) é formada pela hidratação do óxido de magnésio e apresentou intensidades maiores nas idades de 3 e 7 dias. Esta reação é lenta e pode levar anos para completar sua hidratação completa. Pode-se observar que já nas idades mais avançadas (100 dias) houve uma diminuição da mesma nas argamassas, apresentando uma redução maior na argamassa com cinzas incorporadas (M8a).

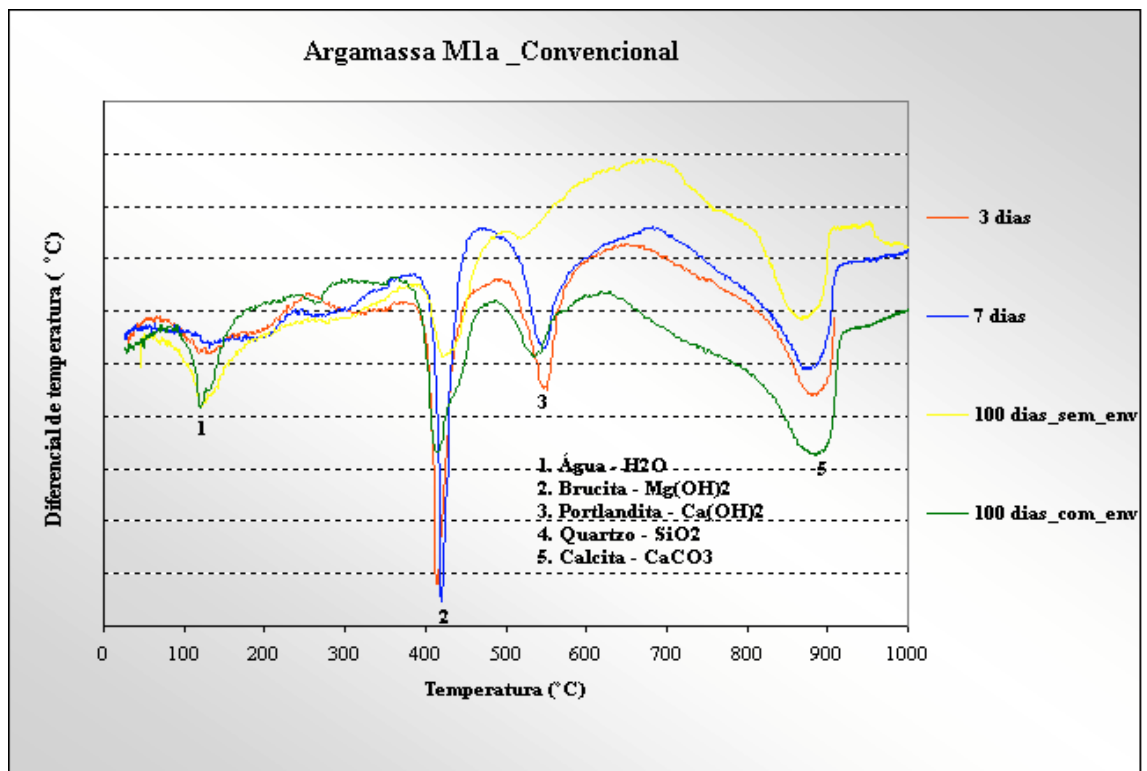


Figura 4.13 – Análise Térmica Diferencial (ATD) da argamassa M1a nas idades de três, sete e cem dias.

A calcita CaCO_3 é descomposta na temperatura de 895°C à pressão atmosférica. A reação que produz o carbonato de cálcio chamada de carbonatação e ocorre entre o hidróxido de cálcio da argamassa e o dióxido de carbono da atmosfera. Nas duas argamassas estudadas com diferentes idades observou-se uma tendência de comportamento similar. Verifica-se que a portlandita Ca(OH)_2 foi liberada em maiores quantidades nos primeiros dias de idade, sendo que, da observação da área do pico relativo à portlandita (550°C) para idades mais avançadas, a cinza pesada reduziu a sua liberação.

Segundo LENZI (2001), a formação da calcita na estrutura da argamassa é positiva porque contribui ao aumento da resistência e principalmente a redução da capilaridade pelo bloqueio dos poros capilares a medida que a carbonatação progride. Pode ser considerada esta uma das causas do aumento da resistência das amostras depois de realizados os ensaios de envelhecimento. Uma vez que foi identificada na ATD uma maior quantidade de calcita nas amostras envelhecidas.

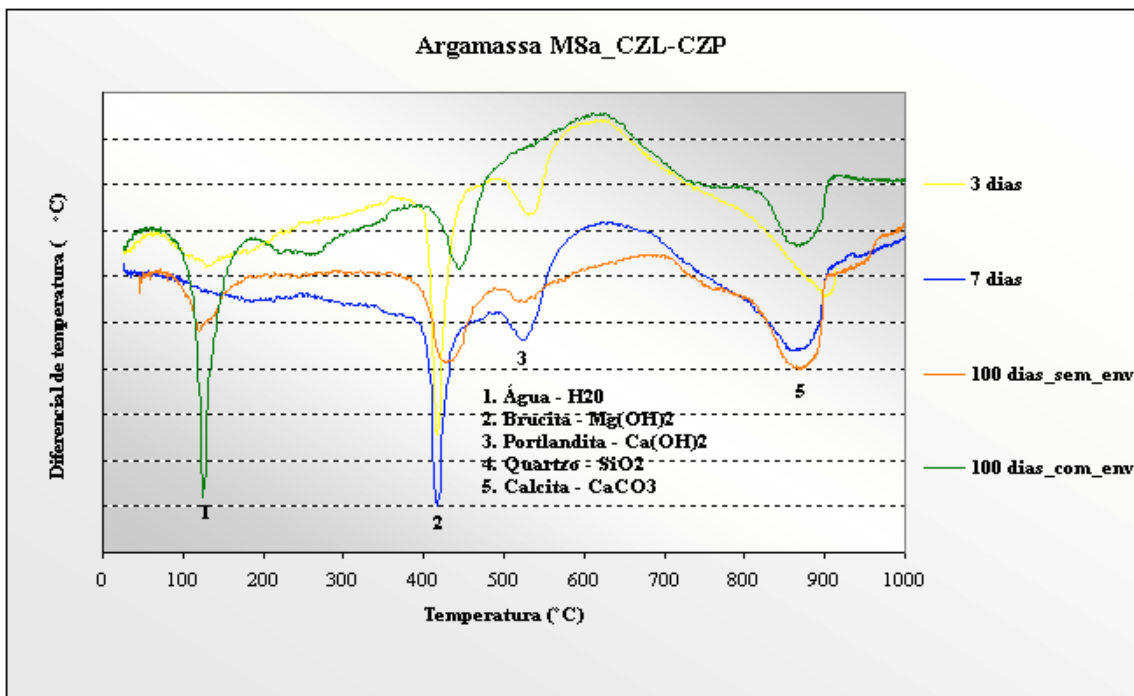


Figura 4.14– Analise Térmica Diferencial (ATD) da argamassa M8a nas idades de três, sete e cem dias.

Na argamassa M8a o quartzo corresponde ao SiO_2 ou sílica, principal componentes das pozolanas e areias não foi identificado em nenhuma das idades pesquisadas. Isto pode ter acontecido a interferência da cinza pesada com o quartzo da areia. As argamassas M1a e M8a apresentaram um consumo de portlandita nas idades de 100 dias, que não foi identificada na M8a quando envelhecida a amostra. Assim que se constata um efeito redutor da formação de portlandita pela cinza.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os objetivos iniciais desenvolvidos neste trabalho se relacionaram com a comprovação de desempenho dos blocos e argamassas como elementos construtivos em paredes em conjuntos habitacionais. Foram pesquisados requisitos e critérios de desempenho em relação à estanqueidade à ação da chuva incidente e à durabilidade. Esta metodologia possibilitou a verificação de tais critérios, que foram tratados durante o transcurso da pesquisa e permitiram as seguintes conclusões.

5.1 CONCLUSÕES RELATIVA À ESTANQUEIDADE

Durante o período de desenvolvimento do ensaio de estanqueidade, uma das principais dificuldades foi a montagem da bancada experimental, pois não se tinha nenhuma informação que permitisse sua execução. Depois de conseguir a norma e feita tal montagem, o processo de execução foi realizado permitindo uma boa operação e praticidade. A novidade desta montagem para a realização do ensaio está dado porque não existia no Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC) e como pode ser visto no capítulo 2, o uso da câmara constitui um método de pesquisa padronizado mundial.

Todos os painéis deste trabalho revestidos com as argamassas mostraram-se estanques à ação de água de chuva. Os painéis com argamassas de assentamento e revestimento com cinzas apresentaram um melhor desempenho em relação ao tempo de aparição da umidade e da primeira mancha com relação aos painéis convencionais. Também tiveram menor área de umidade, o que permitiu alcançar uma percentagem menor da área de umidade na face oposta dos painéis, se bem que a absorção final pelo ensaio de estanqueidade foi maior quando comparada aos painéis convencionais.

Vale ressaltar que apesar disto os valores da absorção final foram inferiores aos 10 % a limites quando submetido chuva incidente. Nos ensaios de teor de umidade e de absorção pelo método do cachimbo, os painéis com argamassas de revestimento com cinzas incorporadas tiveram uma absorção menor do que os painéis com argamassa convencional. Já no ensaio de capilaridade não se observou a mesma tendência de comportamento porque na absorção de água e absorção acumulada, a argamassa convencional teve valores menores.

Através deste trabalho, deseja-se incentivar a promover uma normalização para o processo de avaliação de desempenho devido ao fato que existe pouca informação sobre a metodologia que permita comprovar o comportamento dos novos materiais. Está sendo estudada uma norma financiada pela Caixa Econômica Federal que abrange todas as exigências do usuário colocadas no trabalho, sendo este um projeto que está em fase de discussão.

5.2 CONCLUSÕES RELATIVAS À DURABILIDADE

A realização de ensaio de arrancamento antes e depois de ser avaliado o envelhecimento acelerado da argamassa convencional e com cinzas foi determinante para a compreensão do comportamento das argamassas com relação a resistência de aderência entre os blocos e os elementos constituintes do revestimento.

Isto permite concluir que as argamassas depois de envelhecidas apresentaram um incremento na resistência de aderência à tração, pois as argamassas com cinzas alcançaram resultados superiores em comparação às convencionais.

No processo de preparação das argamassas, o pedreiro constatou que a argamassa convencional era menos trabalhável e muito mais seca do que a argamassa com cinzas. No processo de fabricação dos protótipos, quando foram desempenadas as argamassas com cinzas incorporadas, constatou-se enrijecimento muito mais rápido, permitindo melhor adesão inicial ao substrato do que a argamassa convencional.

O ensaio de durabilidade mostrou bastante eficiência e praticidade na execução com algumas dificuldades na movimentação dos corpos de provas da caixa úmida para a estufa apresentou devido ao peso dos corpos de provas. Este ensaio seria melhor desenvolvido numa câmara de envelhecimento acelerado, porque o mesmo ao ser feito de forma manual, converteu-se em um processo trabalhoso que pode comprometer o desempenho das amostras pela grande movimentação decorrente.

Os painéis compostos com blocos e argamassas com cinzas apresentaram, em geral, um bom desempenho dos parâmetros avaliados. A rigor não existe nenhum motivo em relação aos parâmetros avaliados que não permita seu emprego na construção de edificações, e ao passar por um processo de valorização, desde a obtenção do resíduo até a avaliação como elemento construtivo dentro do processo de construção, isto contribui para alcançar tanto uma sustentabilidade do meio ambiente quanto o desenvolvimento tecnológico dos mesmos.

Por suas características física-químicas, os usos das cinzas obtidas da queima de carvão mineral são associados a produtos como a cal hidratada e/ou cimento que contêm hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 . Estes quando são misturados em presença de água, reagem quimicamente combinando o Ca(OH)_2 dos aglomerantes com a sílica SiO_2 na fase vítrea das cinzas resultando o C-S-H que melhora as características de desempenho dos compósitos constituintes da argamassa.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados alcançados e a experiência adquirida no transcurso da pesquisa, observou-se alguns aspectos importantes que poderão contribuir para a estruturação de novas pesquisas. Os quais são apresentados a seguir:

5.3.1 RECOMENDAÇÕES PARA ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

- Testar corpos de provas de dimensão de 1200 mm x 1200 mm para evitar infiltrações laterais que contribuem para um avanço mais rápido da umidade pela parte lateral das paredes.
- Testar protótipos com argamassas de assentamento mais resistentes que o empregado, pois nesta pesquisa foi empregada argamassa de revestimento conforme LENZI (2001), que tem uma característica muito porosa que provoca uma maior infiltração por capilaridade através da argamassa de assentamento.
- Testar argamassas com aditivos, pois além das amostras serem resistentes depois de 7 horas, elas apresentam uma aparência muito porosa, de pouca resistência, que permite a absorção mais rápida da água durante o processo de aspersão de água nas paredes.
- Os protótipos a serem testados no futuro devem ser construídos na localização definitiva, aonde serão testados, pois a movimentação dos mesmos provoca esforços para o qual não foram preparados e fissuras que comprometem os testes de avaliação.
- Realizar testes com a melhor argamassa e a melhor combinação dos blocos, que sejam testadas três amostras com as mesmas combinações de blocos e argamassas de assentamento e revestimento para assim poder avaliar o acontece nas três amostras com a mesma configuração estrutural.

5.3.2 RECOMENDAÇÕES PARA ENSAIO DE DURABILIDADE

- Com objetivo de avaliar melhor a durabilidade dos protótipos, sugere-se submeter estes ao ensaio de envelhecimento acelerado em câmara de envelhecimento para assim testar corpos-de-prova de maior dimensão e em condições de exposição o mais próximo possível da realidade.
- No ensaio de arrancamento para verificar a resistência à aderência à tração depois e antes de ser envelhecidos os corpos-de-prova, houve desprendimento da parcela de revestimento no momento da realização de furações com a serra-copo e ao acoplar o equipamento às pastilhas. Neste caso é recomendável o uso de furadeira e equipamento de bancada, para minimizar este problema.

5.1.3 OUTRAS RECOMENDAÇÕES

Enfim, vale salientar que a avaliação de um sistema não se restringe apenas à durabilidade e à estanqueidade à chuva incidente. Há outras exigências a serem levadas em consideração para a avaliação total, dando ênfases ao desempenho estrutural como fator para garantir a segurança do usuário.

ANEXO A – Resultados da Resistência à compressão – Tratamento estatístico.

Tabela A-1- Resistência à compressão – Tratamento estatístico dos resultados.

MIX	Estatística	Idade		MIX	Estatística	Idade	
		7D	28 D			7D	28 D
1	Nº amostras	6	12	1a	Nº amostras	3	3
	Rc média	0,797	1,1825		Rc média	1,958	2,73567
	Desv. Padrão	0,0191	0,0417		Desv. Padrão	0,0479	0,06966
	Coef. Variação	2,4	3,5		Coef. Variação	2,4475	2,54632
8	Nº amostras	3	4	8a	Nº amostras	3	3
	Rc média	0,432	0,9372		Rc média	2,7637	3,31167
	Desv. Padrão	0,0129	0,0093		Desv. Padrão	0,2746	0,0584
	Coef. Variação	3,0	1,0		Coef. Variação	9,936	1,7634

ANEXO B-Volume de água coletada na saída da câmara de estanqueidade. Água acumulada período de ensaio.

Tabela A-2 - Água coletada acumulada na saída.

Água coletada acumulada (Volume na saída)				
Tempo de exposição	Argamassa convencional		Argamassa com cinzas	
	<i>Emp (25%)</i>	<i>Exp-1 (0%)</i>	<i>Exp-1 (50%)</i>	<i>Exp-1 (0%)</i>
0 horas	20,36	19,27	18,20	17,54
	40,06	36,97	35,55	33,88
	58,25	56,24	54,46	50,44
	77,07	74,46	74,61	67,83
	94,29	91,68	91,10	85,41
	111,83	109,22	109,52	102,90
	131,19	125,56	127,64	119,22
	149,19	144,12	143,87	136,26
	164,58	161,51	159,34	153,86
1 horas	179,97	178,90	174,81	171,46
	197,46	196,39	192,91	194,17
	213,78	212,71	207,91	210,13
	230,82	229,75	228,91	225,13
	248,42	247,35	246,31	241,16
	265,91	264,84	262,01	259,38
	282,62	287,55	279,55	275,75
	300,58	303,51	295,89	291,60
	317,58	318,51	312,45	308,17
2 horas	334,61	334,54	329,84	325,76
	352,83	352,76	347,64	342,17
	369,20	369,13	365,13	359,53
	387,05	386,98	381,45	376,77
	406,10	406,03	398,49	395,79
	423,37	424,30	416,09	417,85
	441,82	442,75	433,58	431,52
	458,39	459,32	456,29	448,33
	475,98	476,91	475,25	465,36
	493,39	493,32	490,25	480,36
3 horas	511,75	510,68	506,28	496,69
	529,99	527,92	524,50	514,83
	547,01	546,94	540,87	532,42
	567,07	567,00	556,72	549,91
	585,74	583,67	573,96	566,23
	603,55	600,48	592,98	583,27
	620,58	617,51	615,04	600,87
	636,58	634,51	632,71	618,36
	655,91	650,84	649,52	640,07
	674,05	668,98	666,55	656,03
4 horas	691,35	688,28	688,61	672,33

Tabela A-2 - Água coletada acumulada na saída (Cont.)

	707,87	705,80	704,28	688,36
	724,97	725,90	721,09	706,58
	742,89	743,82	738,12	723,74
	759,11	760,04	753,12	741,84
	776,65	777,58	768,45	760,94
	792,99	793,92	786,37	781,94
	809,55	810,48	802,59	799,29
	826,94	827,87	820,13	815,69
	845,66	845,67	836,47	832,50
5 horas	863,15	863,16	853,03	849,53
	881,47	879,48	870,42	864,53
	898,51	896,52	888,22	880,86
	916,11	914,12	905,71	901,92
	933,60	931,61	922,03	917,59
	950,31	951,32	939,07	934,00
	969,07	967,06	956,67	951,03
	985,27	981,30	974,16	970,43
	1003,30	997,33	996,87	985,73
	1021,52	1015,75	1012,80	1003,27
6 horas	1037,89	1032,12	1030,00	1019,61
	1057,34	1047,97	1046,03	1039,11
	1074,39	1067,12	1064,25	1055,31
	1092,66	1083,39	1081,31	1071,62
	1109,11	1101,84	1096,98	1090,13
	1125,48	1118,41	1113,79	1109,28
	1143,07	1135,97	1130,82	1125,77
	1161,07	1154,38	1148,72	1144,19
	1178,43	1171,74	1167,05	1162,41
	1195,57	1188,77	1184,29	1178,64
7 horas	1214	1208	1203	1194

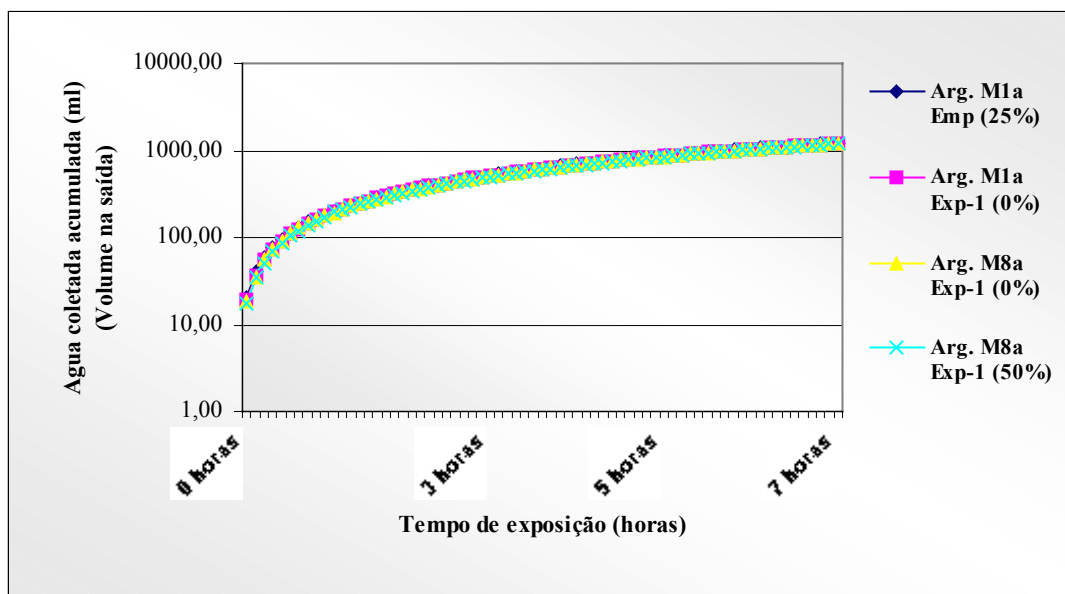


Figura A-1- Água coletada acumulada (Volume na saída).

Tabela A-3 - Volume de água acumulado durante o ensaio de estanqueidade.

Argamassas	Volume de água	0	1	2	3	4	5	6	7
Arg_M1a	Vinicial	0	180	360	540	720	900	1080	1260
	Vfinal Emp 25 %	0	179,97	334,61	511,75	691,35	863,15	1037,89	1214
	Vfinal Exp-1 (0%)	0	178,9	334,54	510,68	688,28	863,16	1032,12	1208
Arg_M8a	Vfinal Exp-1 (50%)	0	174,81	329,84	506,28	688,61	853,03	1030	1203
	Vfinal Exp-1 (0%)	0	171,46	325,76	496,69	672,33	849,53	1019,61	1194

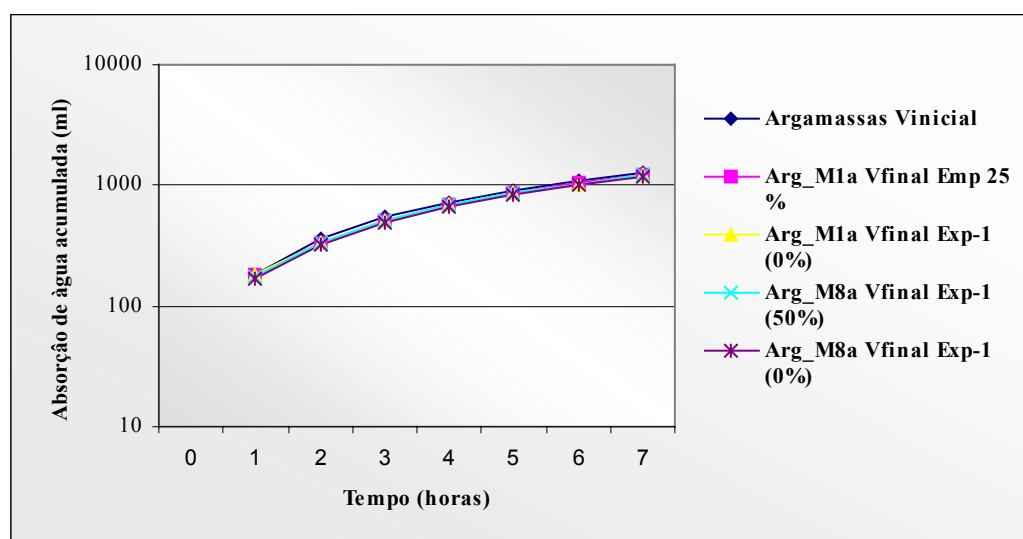


Figura A-2 – Absorção de água acumulada durante o ensaio de estanqueidade.

ANEXO C – Resultados do teor de umidade.

Tabela A.4 - Teor de umidade das argamassas ao final do ensaio de estanqueidade.

Misturas	Amostras	Peso úmido	Peso seco	Teor de Umidade	Média
Mistura M1a	superior	54,50	43,30	25,87	25,43
	médio	52,40	41,70	25,66	
	inferior	53,90	43,20	24,77	
Mistura M8a	superior	53,10	45,80	15,94	16,17
	médio	49,00	42,20	16,11	
	inferior	52,40	45,00	16,44	

ANEXO D–Ensaio de absorção por baixa pressão. (Método do cachimbo).

Tabela A-5 – Resultados nas diferentes argamassas testadas.

Argamassa Convencional				Argamassa com cinzas incorporadas			
Amostras	Tempo de Exposição			Amostras	Tempo de Exposição		
	5min	10min	15 min		5min	10min	15 min
1	1,90	3,20	4,50	1	1,00	1,60	2,50
2	1,50	2,80	4,10	2	0,50	1,50	2,40
3	1,70	2,90	4,20	3	0,80	2,00	3,00
4	2,00	3,00	4,00	4	0,50	2,20	4,00
Média	1,78	2,98	4,20	Média	0,70	1,83	2,98

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. Estudos dos materiais de construção civil - materiais alternativos. **Tecnologia das edificações**. São Paulo: PINI, 1988. p.75-78.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E 514**: Standards test method for water penetration and leakage through masonry, ASTM, Baltimore, 1990.

_____. **E 514**: Standards test method for water permeance of masonry. ASTM, Philadelphia, 1974.

ANDRADE, A. C. F. & CERATTI, J. A. P. **Avaliação da resistência a compressão simples e da absorção de tijolos de cinza volante e cal**. Caderno Técnico. CT - 10/90. Porto Alegre: Curso de Pós – Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, 1990. p. 32.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7175**: Cal Hidratada para argamassa. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7215**: Ensaio de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13528**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

ARAÚJO, V.M; MARTINS, T. L. & ARAÚJO, E. H. Avaliação do desempenho térmico de unidades habitacionais construídas com paredes em concreto celular no Conjunto Santarém- Município de Natal – RN. In: ENTAC 95- Qualidade e Tecnologia na Habitação. Volume II, 1995, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro. ANTAC. p. 569- 574.

BAYEUX, P. Passaporte da Qualidade. **Revista Técnica**. São Paulo, n. 46. p. 27-30, Mai/Jun. 2000.

BARTH, F. - **Inovações tecnológicas nos sistemas de vedações verticais: Disciplina ECV315075**. Julho-Setembro de 2000. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. UFSC. **Notas de Aula**.

- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS-4315**: Methods of test for resistance to air and water penetration. Part 2: Permeable walling constructions (Water penetration). London, 1990.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Rising damp in wall**. Building defects and maintenance. 2. 1987. p. 85-91.
- BONIN, L. C. Considerações sobre a utilização do conceito de desempenho como instrumento para a modernização tecnológica na construção de edificações. In: ENTAC 98 – Qualidade no processo construtivo, 1998, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis, 1998, ANTAC. p. 447-452.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Projeto 02: 136.01.004** – Desempenho de edifícios habitacionais de até 4 pavimentos – Parte 4: Fachadas. São Paulo. 2001.
- CALVACANTE, R. J; CHERIAF, M; POZZOBON, C. MAIA, S. M; MAGRI, L; TAPPARO, S. M. Reaproveitamento das cinzas pesadas do complexo Jorge Lacerda na elaboração de materiais de construção: Aspectos tecnológicos e ambientais. In: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 1999. Paraná. **Anais**. Paraná. 1999. p.1-5.
- CAHIER DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, **La resistance dès murs à la penetration de l' eau de pluie**, (39), oct. 1959.
- CERNY, R.; DRCHALOVA, J.; ROVNANIKOVA, P. The effects of thermal load and frost cycles on the water transport in two high-performance concretes. **Cement and Concrete Research**. Amsterdam. 31 May. 2001. p.1129-1140.
- CHIES, F., MALMANN, J. E. C. & ZWONOK, O. Características dos tijolos cinza/cal. In: ENTAC 95 – Qualidade e tecnologia na Habitação. Volume II. 1995. Rio de Janeiro. **Anais**. . Rio de Janeiro. ANTAC. p. 161-169.

DIAMAND, E. **Aislamento térmico y acústico de edificios**. Madrid, Blume, 1967.

ENBRI - **Development of a framework for environment assessment of building materials and components**. (ENBRI - Proposal to European Community BRITE EURAM Program). Março, 1994. Mimeografado.

FLORI, J. P. Drying and wetting conditions for wall in relation with climate parameter. In: International Congress CIB 89-Quality for building users throughout the world. XI, 1989, Paris. **Anais**. Paris, 1989. p. 286-295.

FREITAS, V.P.; ABRANTES, V.; CRAUSSE, P. Moisture migration in building walls-analysis of the interface phenomena. **Building and Environment**. Amsterdam. 1996. Vol.31, Nº 2.p. 99-108.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Ensaio de estanqueidade à água**. Porto Alegre, 1980.

HALL, C. Water sorptivity of mortar and concretes, a review. **Magazine of concrete research**. Amsterdam. 1989. Vol. 41. No. 147. p. 51-61.

_____. Water movement in porous building materials-I: unsaturated flow theory and its applications. **Building and Environment**. Amsterdam. 1977. p. 117-125.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Performance standards in buildings-principles for their preparation and factors to be considered-ISO 6241**. 1984. Genebra.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Argamassa de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio**. 1995. São Paulo, IPT. (Boletim 68).

- JOHN, M.V. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. Workshop - Reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil. 1996. São Paulo. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 21-29.
- JOHN, M. V.; ZORDAN, S.E. Research & development methodology for recycling residues as building materials - a proposal. **Waste Management**. Amsterdam. 2001. p. 213-219.
- KROPP, J; H. H. K. Performance criteria for concrete durability. **RILEM REPORT 12**. 1995. p. 225-226.
- LACERDA, G. D. **Avaliação de desempenho estrutural aplicada a paredes em painéis de madeira revestidas com elementos cerâmicos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- LENZI, E.J. **Influencia do uso de cinzas da combustão de carvão mineral em argamassa de revestimento**. 2001. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- LOPES DE OLIVEIRA, F. **Avaliação do Desempenho Estrutural de Sistemas Construtivos Inovadores: Estudo de Caso**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.
- LORDSLEEM JR, A. C.; MACIEL, L.; BARROS, M.M. & SABBATINI, F.H. Métodos de ensaios de estanqueidade à água de paredes. In: ENTAC 95-Qualidade e Tecnologia na Habitação. Volume II, 1995, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, ANTAC. p. 845.

- McCARTER, W.J. Assessing the protective qualities of treated and untreated concrete surfaces under cyclic wetting and drying. **Building and Environment**. Amsterdam. 1996, Vol.31, No 6, p. 551-556.
- MITIDIERI FILHO, C.V. & SOUZA, R. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular.– conceituacão e metodologia. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo, PINI, 1988. p. 139-142.
- _____. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular. Aplicação pratica (parte 1º). **Tecnologia das Edificações**. São Paulo, PINI, 1988. p.143-148.
- _____. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular. Aplicação pratica (parte 2º) **Tecnologia das Edificações**. São Paulo, PINI, 1988. p.149-152.
- MITIDIERI FILHO, C.V. **Avaliação de Desempenho de Componentes e Elementos Construtivos Inovadores destinados a Habitações: Proposições Especificas à Avaliação do Desempenho Estrutural**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- OLIVEIRA, S.M., **Avaliação de Tijolos e Blocos Cerâmicos do Estado de Santa Catarina**. 1993. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- PIAZZA, J. L., RUI, V. Comportamento das cinzas pesadas de carvão mineral como substituto da areia quartzosa em argamassas. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. 1999. Vitória. **Anais**. Vitória, ANTAC, 1999. p. 389-401.
- PICCHI, F. A. Impermeabilidade de coberturas - panorama geral e perspectivas (parte 2º). **Tecnologia das Edificações**. São Paulo, PINI, 1988. p. 245-250.

- PHILIPPI, P. C. FERNANDES, C.P. YUNES, P. R. Hicroscopicidade e capilaridade nos materiais de construção. Florianópolis, SC. 1993. p. 171-178. In: Encontro Brasileiro Sobre Conforto no Ambiente Construído. 2º, 1993, Florianópolis. **Anais**. 1993. Florianópolis. p. 171-178.
- POLISENI, A E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede – Método do cachimbo-** 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- POZZOBON, C. E. **Aplicações Tecnológicas para a Cinza do Carvão Mineral Produzido no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda**. 1999. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- PURNELL, P. et al. Accelerated ageing characteristics of glass-fibre reinforced cement made with new cementitious matrices. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**. Amsterdam. Sept. 1999. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science>> Acesso em 18 oct. 2001.
- QUERALT, I. et al. Use of coal fly ash for ceramics: A case study for large Spanish power station. **Fuel** 76/8. Jun. 1997.
- RAGO, F.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.C.; PASSOS GUIMARÃES, J.E. Desempenho de argamassas de revestimento mistas e aditivas - Metodologia de Avaliação. 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries.. 1994. Florianópolis. **Proceedings**. Florianópolis. ANTAC. 1994. p. 71-83.

- RODRIGO, P. A. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração da penetração de água pelas fachadas (2ª. parte). **Construção São Paulo**, nº 1957, de 12/08/8 (in Tecnologia das edificações. PINI/ IPT, 1988. p. 139-152.
- ROMAN, Leslie, M. F.; SAGAVE, André; ROMAN, H. R.; ALARCON, Orestes E. Análise da resistência de aderência em Sistemas de revestimento Cerâmico submetidos à ciclos higrotérmicos. In: **ENTAC**, 8º, V. 2, 2000. Salvador, p. 862-868. Artigo técnico. Disponível em: www.antac.org.br.
- ROY, S. K., POH, K. B. NORTHWOOD, D. O. Durability of concrete-accelerated carbonation and weathering studies. **Building and Environment**. Amsterdam. sept. 1999. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science> > Acesso em 18 oct. 2001.
- SHARER, F. A.; EL-DIEB, A. S.; REDA, M. M. Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. **Cement and concrete research**. Amsterdam. 1997. Nº 27.p. 711-720.
- SILVEIRA. J.A. Aproveitamento de cinzas volantes e pesadas para a produção de concretos usinados e de blocos e pavimentos de concreto. **Relatório**. 2001.
- SOUZA, Roberto de. A avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação.. In: **Simpósio Latino-Americano de Racionalização da Construção e sua Aplicação às habitações de interesse social**. 1981. São Paulo. p. 247-256.
- SOUZA, C. K. Desempenho de alvenarias com relação á estanqueidade á água. In: **Simpósio de desempenho de materiais e componentes de Construção Civil**, 1º, 1988, Florianópolis, p. 97-105. Artigo técnico: Disponível em www.infohab.org.br.

SOUZA, Roberto de. **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação às janelas de uso habitacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica.Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

THOMAZ, E. Desenvolvimento de produtos na construção civil. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo, PINI, 1988. p. 209 –214.

_____. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo, IPT/EPUSP/PINI, 1996. p.34.

THOMAZ, E.; RANIERI C. G. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo, IPT, 1998.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. Proposta de metodologia de ensaio para determinação de absorção de água por capilaridade das argamassas de revestimento. **In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas**. 2º, 1997, Salvador, **Anais**, Salvador, 1997. p. 437-444.

TOLEDO FILHO, D.R., SCRIVENER, K.; ENGLAND,L.G.; GHAVANI, K. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**. Amsterdam. Jan. 2000. p.127-143.